

왕겨 燃燒機를 利用한 溫水보일러 시스템 開發 (I) +
— 實驗的 研究 —

Development of a Hot Water Boiler System with a Rice Hull Furnace

李 鎔 國*, 朴 勝 濟**, 白 豐 基***, 盧 祥 夏**
Y. K. Lee, S. J. Park, P. K. Baek, S. H. Noh

Summary

This study was performed to develop a hot water boiler system with small scale automatic rice hull furnace for the multi-purpose use in the farm.

For the experiment a prototype hot water boiler system with rice hull furnace was fabricated, which was equipped with automatic hull feeder, igniter and ash removal device. Optimum operational conditions of the prototype system were analyzed.

The results are summarized as follows.

1. The temperature measured right above the burning surface should be higher than 500°C combustion.

kg/m

2. The top zone of the combustion chamber was the most suitable location of the thermocouple to pick up the control temperature for the automatic operation of the rice hull furnace.

3. The content of carbon monoxide in the flue gas was increased with the filling height of burning material but it was less than 0.3 percent in volume in this experiment. When the filling height was expressed as the ratio of rice hull feed rate to the volume of the combustion chamber above the burning surface, the optimum ratio was about 150 kg/m³-h.

4. The combustion efficiency of the prototype was higher than 95 percent when the feed rate was 1.1 to 2.3 kg/h and moisture content of rice hull was 22.4 percent (w.b.) or less.

5. It was estimated that the optimum operational conditions of the system were 1.3 to 2.0 kg/h in feed rate, 70 to 100 percent in excess air and 500 to 510°C in control temperature.

6. The efficiency of coil heat exchanger increased with a decrease in feed rate of rice hull. When the rice hull feed rates were 1.1, 1.7 and 2.3 kg/h, the efficiencies of coil heat exchanger were about 34, 30 and 25 percent and heat transfer rates were 5.7, 7.6 and 8.8 MJ/h, respectively. When the flat plate heat exchanger was used in addition to the coil heat exchanger, the efficiency of the heat exchanger system increased to 48 percent.

* 本 研究는 1986年度 産學協同財團 學術研究費에 의하여 遂行되었음.

* 成均館大學校 農業機械工學科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

*** 建國大學校 農業機械學科

1. 緒 論

왕겨는 밀도가 작기 때문에 무게에 비해 부피가 커 운반이 용이하지 않다. 따라서 왕겨는 생산되고 있는 農村의 農家에서 에너지원으로 이용하는 것이 가장 바람직하다고 생각된다.

현재 국내에서는 왕겨가 효과적으로 이용되지 못하고 있는데 그 첫째 이유는 성능이 우수한 燃燒機가 개발되어 있지 않기 때문으로 생각된다. 일부 農家에서는 재래식 아궁이에서 분풍식 燃燒機로 왕겨를 燃燒시키고 있는데 이 방법은 燃燒效率이 극히 낮고, 作動에 人力을 필요로 하기 때문에 거의 이용되지 못하고 있는 실정이다.

또한 왕겨는 퇴비의 成分도 없을 뿐만 아니라 잘 썩지 않기 때문에 공해물질로 취급되어 그 처리방법이 요구되고 있는 실정이다.

과거 폐기물로서의 왕겨를 처리할 목적으로, 정미소에서 주로 이용한 왕겨 燃燒機 보일러 시스템은 대형 스팀 보일러였다. 이것은 규모가 커 設備費가 많이 들고, 왕겨 소모율이 높아 일반 農家에서는 이용하기가 불가능하다.

최근에 Jeon¹⁾은 취사와 溫水 사용을 목적으로 왕겨 燃燒機의 溫水 보일러 시스템을 제작 實驗한 바 있는데, 이것은 평범한 톱밥난로의 구조를 가진 것으로서 그 보일러 效率이 낮을 뿐만 아니라 燃燒機의 作動이 自動化되어 있지 않으므로 사용이 매우 불편하다. 그의 국내에서 특허신청을 한 평범한 톱밥난로의 구조를 가진 왕겨 燃燒機도 위와 같은 이유로 이용되지 못하고 있는 실정이다.

이런 시점에서 農家の 난방이나 급탕, 동절기 가축의 급수용 溫水 供給, 비닐하우스의 보조열원, 매탄가스 발효조의 보온등에 이용할 수 있는 다목적용 소형 왕겨 燃燒機 溫水 보일러 시스템의 개발은 매우 절실하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 다목적용 소형 왕겨 燃燒機와 그를 이용한 溫水 보일러 시스템을 개발하기 위하여 다음과 같은 구체적 목적을 가지고 實驗을 수행하였다.

1. Center burner 형 小型 왕겨 燃燒機의 왕겨 供給장치, 착화 및 灰分 처리장치를 개발한다.
2. 燃燒機 作動의 自動化를 위한 기초자료를 수집하고, 溫水 보일러 시스템 개발의 가능성을 검

토한다.

3. 왕겨 供給量, 공기 供給量 및 燃燒표면 높이가 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석한다.
4. 본 시스템의 제원에서 最適 作動條件을 分析한다.
5. 본 시스템의 改善點을 把握, 分析한다.

2. 材料 및 方法

가. 實驗材料

본 實驗에 사용된 實驗材料는 1986년 10월에 수원시에서 수확된 아끼바레 품종의 왕겨로서 그 물성은 표 1과 같다. 實驗材料의 발열량은 Shimadzu Automatic Bomb Calorimeter CA-3를 이용하여 측정하였고, 灰分의 함량은 Muffle Furnace를 이용하여 측정하였다. 왕겨의 含水率은 오븐의 溫度 80℃에서 48시간 乾燥시킨 후 測定하였다.

표 2는 實驗材料의 營養分析值이다.

나. 實驗用 製作機

본 實驗에 사용된 實驗用 제작기는 박승제등²⁾이

Table 1. Properties of rice hull used for experiment.

Property	Value
Variety	Akibare
Ash content	13.9%
Moisture content	12.3% (w.b.)
Heating value (high level)	15,600 kJ/kg

Table 2. Composition of nutrients and elements of rice hull.

Nutrients	Composition ratio (%)	Element
Fat	1.0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂
Protein	2.9	C ₅₂ H ₇ O ₂₃ N ₁₆ (S etc)
Fiber	35.3	C ₆ H ₁₂ O ₆
Nitrogen free extract	34.6	C ₆ H ₁₂ O ₆
Ash	13.9	SiO ₂ etc
Moiture	12.3	H ₂ O

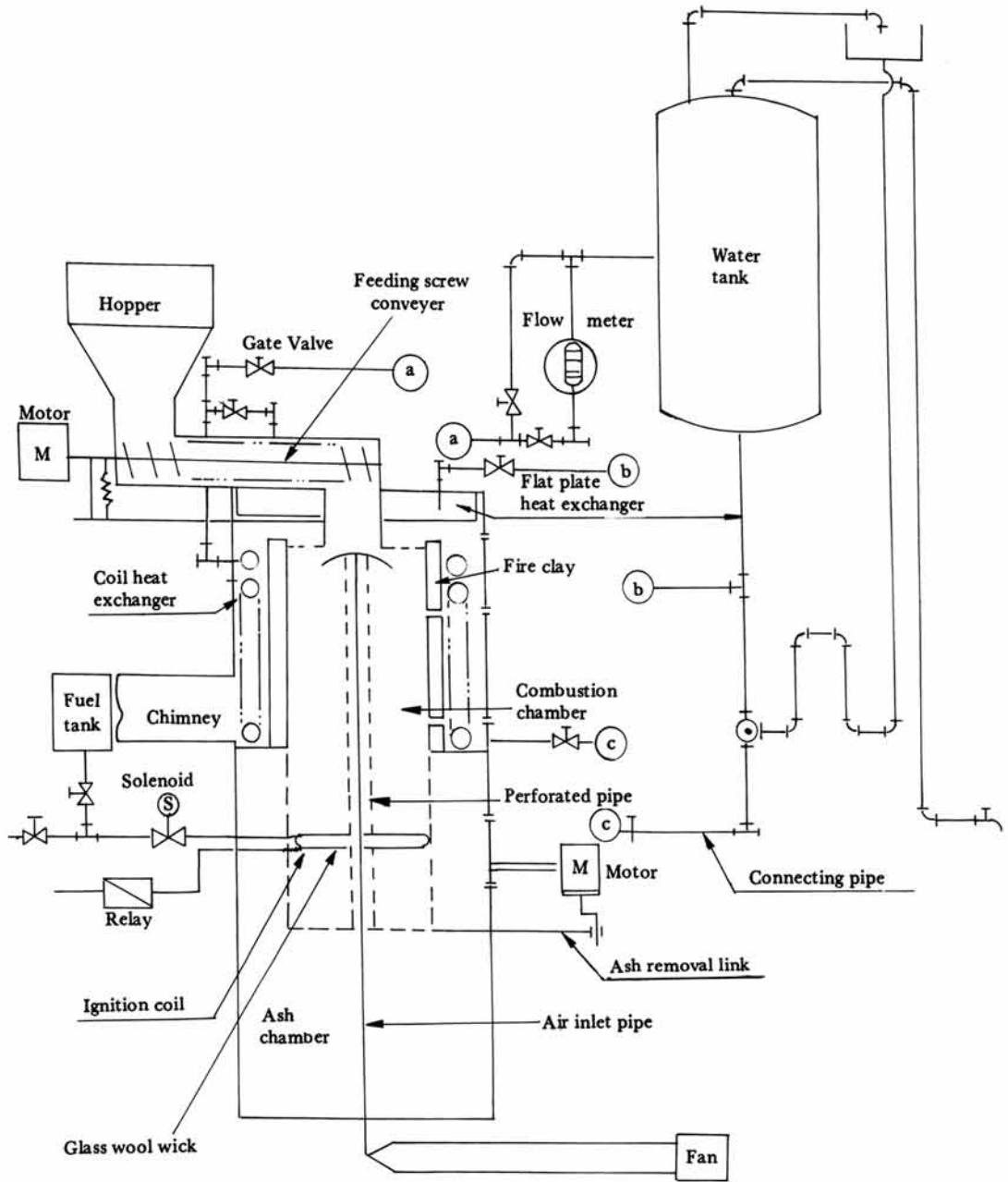


Fig. 1. Schematic diagram of a prototype hot water boiler system with rice hull furnace.

개발한 Center burner 형 소형 왕겨 燃焼機의 제원과 구조를 부분적으로 변경하여 제작하였다.

實驗用 제작기 설계시 고려된 중요사항은 燃焼機作動의 自動化를 위한 장치로서, 왕겨 供給장치, 착화 및 灰分 처리 장치였다. 그림 1과 표 3은 전체 시스템의 개략도와 제원을 나타낸 것이다.

實驗用 제작기 燃焼室의 크기는 열량으로 환산할 때 왕겨 1.4kg/h 정도에 상당하는 農家의 난방을 위한 평균 소비 에너지 21.3MJ/h와⁷⁾ 박승제등의 연구 결과를 기준으로 최소 왕겨 供給量이 약 1.0kg/h 이하가 될 수 있도록 결정하였다. 또한 燃焼室의 보온효과를 위하여 燃焼室 상부벽은 두께

Table 3. Specifications of furnace and boiler system.

Furnace	Dimension
over-all	400φ x 1020
combustion chamber	220φ x 610
ash chamber	400φ x 320
hopper exit	70 x 90
feeding screw conveyor	80φ, Pitch 30
air inlet pipe	15φ
chimney diameter	90φ
Boiler system	
connecting pipe	di=15.8, do=21.3
water tank	500φ x 1020 (200 liter)
coil heat exchanger	di=15.8, do=21.3, 11.5 turns
flat plate heat exchanger	4.6 liter

Unit : mm

25mm의 토관(연탄보일러용으로 시판되는 것)을 사용하였으며 공기 供給은 作動의 自動化를 위하여 공기 供給관을 통해 소형 팬으로 강제 供給하였다.

温水 보일러 장치로는 배연개스 통로인 燃燒室 상부 토관 바깥쪽에 내경 15.8mm의 상업용 강관을 이용하여 설치가 용이하고 보통 많이 이용되고 있는 코일형 열교환기를 설치하고, 燃燒機 뚜껑에 4.6리터 용량의 평판형 열교환기를 설치하였다. 또한 축열조(温水 탱크)는 일반 가정용에 많이 이용되는 용량 200리터인 알루미늄제를 이용하였다.

특히 박승제등의 연구에서 개선점으로 제시되었던 왕겨재와 異物質등이 燃燒室 바깥으로 날리는 현상을 막기 위하여 燃燒室 상단을 다공철판으로 막고, 이 다공철판이 막히지 않도록 주기적으로 충격을 가하는 장치를 하였다.

다. 自動化 裝置

燃燒機 作動의 自動化 裝置는 왕겨 供給裝置, 着火裝置, 灰分 처리장치로 구성되어 있는데 왕겨의 供給장치는 스크류 컨베이어와 23W의 직류 모터를 이용하여 제작하였고, 모터의 회전속도를 制御하여 供給량을 조절하게 되어 있다.

스크류 컨베이어의 제작에서는 왕겨 供給량을 적

게 하기 위하여 가능한 크기를 작게 하려고 하였다. 하우징 직경은 호퍼로부터 왕겨의 자유낙하가 가능한 연료 출구 최소 단면 80×80mm를⁶⁾ 고려하여 80mm로 하였고, 피치는 수준을 세수준(20, 25, 30mm)으로 하여, 축 회전수 10rpm 범위 내에서 회전당 왕겨 供給량을 측정하는 豫備實驗에서 피치 20, 25mm에서는 왕겨 供給이 불가능 하였으므로 30mm로 결정하였다. 豫備實驗에서 스크류 컨베이어 축 회전당 왕겨 供給량은 8.5g이었다.

燃燒機의 착화장치는 작은 구멍을 뚫은 내경 12mm의 관을 원형으로 만들어, 그것에 유리심지를 감아 그림 1에서와 같이 燃燒室 下部에 설치하고, 석유와 점화코일로써 착화하도록 제작하였다.

燃燒機의 灰分 처리장치는 25W의 직류 모터로써 燃燒室 下端部 灰分 처리 그레이트에 장착한 링크 메카니즘을 구동하여 灰分을 燃燒室로부터 灰分통으로 낙하시키는 방법을 이용하였는데, 열전대로써 燃燒室 상단의 溫度를 감지하고 自動溫度조절기로써 灰分 처리 모터를 구동시켜 주기적으로 灰분이 낙하되도록 하였다.

본 왕겨 燃燒機의 왕겨 燃燒과정을 고려하면 自動 灰分 처리 방법은 自動 溫度 조절기를 이용하는 방법이 가장 좋을 것으로 판단되었다. 自動溫度조절기를 이용하는 경우에는 두가지 방법이 있는데, 그 두가지 방법에 대하여 自動 灰分 처리를 위한 豫備實驗을 수행하였다.

첫째 방법은 燃燒표면보다 아래에 열전대를 위치시키고(制御溫度 감지) 燃燒표면의 높이가 높아짐에 따라 制御溫度가 낮아지게 되므로 制御溫度가 自動溫度조절기의 지정溫度보다 낮게되면 灰分 처리 모터가 구동되어 灰分을 灰分통으로 낙하시키게 되고 따라서 燃燒표면의 높이가 낮아지게 되면 다시 制御溫度가 상승하게 되어 모터의 구동이 멈추어지게 되는 방법이다.

둘째 방법은 첫째 방법과 반대의 방법으로서 燃燒표면보다 위에 열전대를 위치시켜 制御溫度를 감지하고, 燃燒표면의 높이가 높아질수록 制御溫度는 상승하게 되므로 制御溫度가 溫度조절기의 지정溫度보다 높으면 灰分 처리 모터를 구동시켜 灰分을 灰分통으로 낙하시키는 방법이다.

豫備實驗 결과 첫째 방법은 制御溫度의 변이가 너무 크기 때문에 열전대의 온도감지에서 시간지연이

너무 커 본 燃燒機의 自動 灰分 처리 方法으로서는 불합리하였다. 둘째 方法은 制御溫度의 變이 小인 自動 灰分 처리 方法으로서 적합하였는데, 自動溫度 感지위치는 溫度變이 小하고 열전대의 수명등을 고려하면 온도가 낮은 것이 유리하므로 燃燒室 上端이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

그림 2는 自動化 장치의 設定도이며 그림 3은 自動 灰分 처리장치의 회로도이다. 그림 3의 自動 灰分 처리장치의 회로는 灰分 처리 모터가 구동된 후 制御溫度가 自動溫度조절기의 지정溫度보다 낮아져 自動溫度조절기의 스위치가 끊어지더라도 灰分 처리 그레이트가 열린상태 (灰分이 낙하되는 상태) 에서는 회분 처리 모터가 계속 회전하여 灰分 처리 그레이트가 닫힌 상태에서 정지하게 하는 灰分 처리 그레이트 위치 制御회로를 溫度制御회로에 추가시킨 것이다.

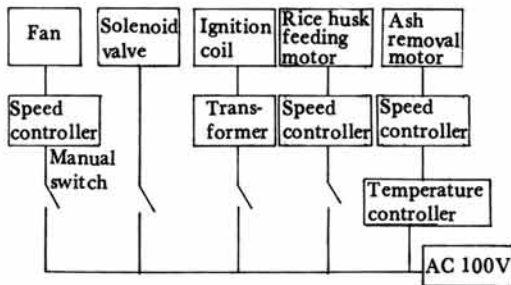


Fig. 2. Block diagram of operation control system.

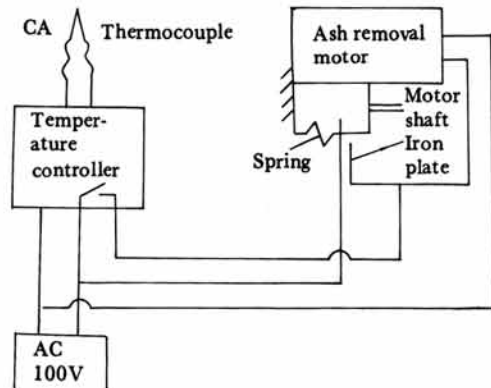


Fig. 3. Circuit diagram of control system for ash removal.

라. 實驗方法

1) 實驗設計

왕겨 燃燒機의 燃燒效率에 큰 영향을 미치는 重要 作動인자는 왕겨 供給量, 공기供給量, 燃燒室 下端 으로부터 燃燒표면까지의 높이(本 研究에서는 燃燒 표면 높이로 명명함)이다.

燃燒에서는 一般적으로 完全燃燒를 위하여 이론 적으로 필요한 공기량보다 더 많은 공기량을 供給

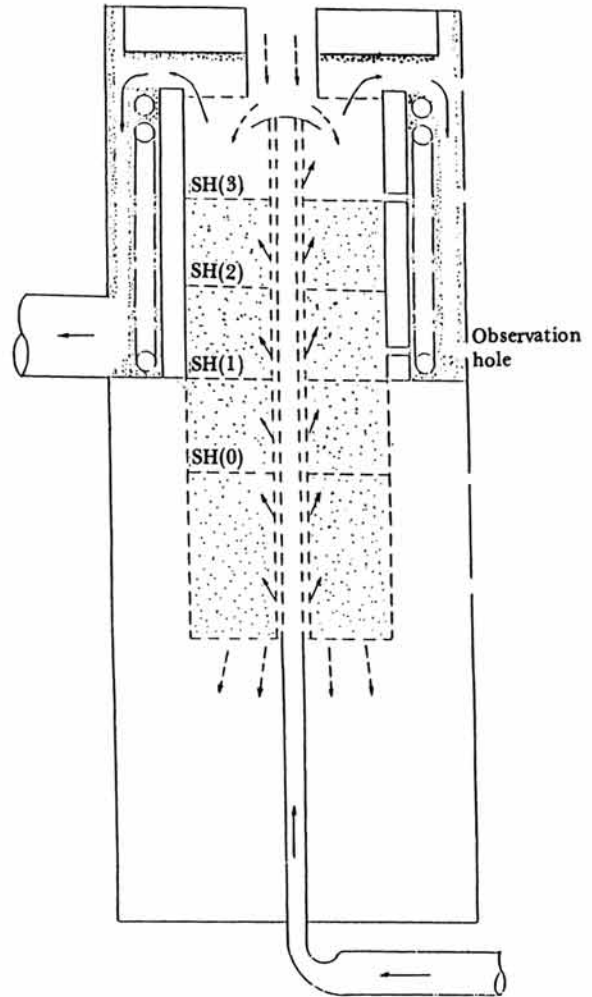


Fig. 4. Air passage in the furnace and filling height of burning material.

Note: SH(0) : 0.17m high from bottom of combustion chamber.

SH(1) : 0.28m high from bottom of combustion chamber

SH(2) : 0.39m high from bottom of combustion chamber

SH(3) : 0.50m high from bottom of combustion chamber

하여야 하므로, 과잉공기는 다음과 같이 정의된다.

과잉공기 = (燃焼에 供給된 공기량 - 이론 공기량) × 100 / 이론 공기량

燃焼표면 높이는 燃焼가 정상적으로 이루어지고 있을 때 燃焼室 下端으로부터 燃焼표면까지의 높이로써 정의된 것인데, 이것은 燃焼표면 위의 燃焼室 공간 부피와 燃焼室 내에서 燃焼물질이 燃焼되는 시간에 영향을 미치게 되므로써 燃焼効率에 영향을 미치게 되는 것이다.

그림 4는 燃焼機 내에서의 공기 및 배연개스의 흐름, 왕겨 및 灰分의 흐름, 그리고, 燃焼표면 높이를 나타낸 것이다.

實驗의 설계는 뚜껑에 설치한 평판형 열교환기는 실제 이용하는데 여러가지 불편함이 있으므로 코일형 열교환기만 이용하는 상태에서 왕겨 供給량을 주구, 공기供給량을 세구, 燃焼표면 높이를 세세구로 하는 2회 반복의 분할구 배치법으로 하였다.

주구의 수준은 豫備實驗을 통하여 찾아낸 왕겨의 최소 供給量 약 1.0kg/h, 왕겨 供給量 1.4kg/h 에 상당하는 農家의 동절기 난방을 위한 평균 소비에너지 약 21.3MJ/h와 일일 최대 난방 소요 에너지 (약 연탄 12장 분량으로 추정)를 근거로 하여 제 1수준(F1)을 1.1kg/h, 제 2수준(F2)을 1.7, 제 3수준(F3)을 2.3kg/h로 하였다.

세구의 수준은 Shimizu 등¹⁷⁾의 과잉공기 90-170% 범위에서 가장 높은 溫度를 나타낸다는 보고를 근거로 하여 제 1수준(A1)을 과잉공기 70%, 제 2수준(A2)을 140%, 제 3수준(A3)을 210%로 하였다.

세세구의 수준은 왕겨 供給량이 많아질수록 가연성 개스의 燃焼공간도 커져야 할 것으로 생각하여 왕겨 供給量 수준 F1, F2에서는 제 1수준(SH(1))을 燃焼室 바닥으로부터 28cm 높이, 제 2수준(SH(2))을 39cm 높이, 제 3수준(SH(3))을 50cm 높이로 하였고, 주구 수준 F3에서는 제 1수준(SH(0))을 17cm, 제 2수준(SH(1))을 28cm, 제 3수준(SH(2))을 39cm로 하였다.

2) 實驗用 제작기의 착화 및 燃焼表面 높이유지
그림 2에서와 같은 作動의 自動化 裝置를 이용하여 다음과 같은 과정으로 착화 및 燃焼표면 높이를 유지시켰다.

석유 연료통에 800cc의 석유를 붓고 난 후 솔레

노이드 밸브를 作動시켜 석유를 유리심지로 供給하면서, 점화코일(6V용)을 作動시켜 유리심지에 착화시킨다. 燃焼室 내의 溫度가 상승하여 燃焼室 상단의 溫度(制御溫度: Tc)가 100℃가 되면 착화가 된 것으로 감지하고 점화코일의 作動을 중지시키고, 공기 供給팬을 作動시켜 공기供給을 시작한다. 공기 供給량의 조절방법은 슬라이다스로써 팬모터의 회전수를 조절하는 방법을 이용하였다.

制御溫度가 200℃에 이르면 燃焼室의 豫熱이 어느정도 된 것으로 판단하여 왕겨 供給 모터를 作動시켜 왕겨供給을 시작하고, 制御溫度가 350℃에 이르면 왕겨만으로써 연속 燃焼가 가능할 수 있다고 판단하여 솔레노이드 밸브作動을 중지시켜 석유供給을 중단한다. 소모된 석유량은 연료통에 남은 연료량을 메쉬실린더로 계량하여 측정하였으며, 燃焼물질(왕겨)이 實驗條件의 燃焼표면 높이까지 도달하는 시간은 왕겨供給 시작시부터 측정하였다. 왕겨 供給량은 20분마다 스크류 컨베이어 구동 모터의 회전수를 측정하여 供給량이 일정수준으로 유지되게 하였으며, 燃焼표면 높이는 그림4에서와 같은 관찰구멍을 통하여 판단하였다.

自動溫度조절기의 조절溫度(Tc)는 實驗처리에 따라 自動化의 자료로 수집되었다.

3) 灰分試料 채취법

왕겨燃焼率을 측정하기 위한 灰分試料는 實驗條件의 燃焼표면 높이가 유지되고 충분한 시간이 지난 후(왕겨供給 시작시부터 최초 燃焼표면 높이에 이를때까지의 1.5배의 시간이 지난 후) 1시간 동안(측정기간) 낙하된 灰分을 잘 혼합하여 30g정도 채취하였다.

4) 溫度, 공기供給量, 溫水 순환유량, 일산화탄소량 측정

燃焼室 내로 供給되는 공기 供給량은 공기 供給팬의 풍속을 열선풍속계로 측정하여 계산하였다.

燃焼機와 溫水보일러 시스템의 각 위치별 溫度는 燃焼표면 높이가 유지되고 충분한 시간이 지난 후 측정기간 1시간동안 6분 간격으로 디지털 溫度 기록계로써 측정하였다. 이용된 溫度 센서는, 燃焼機의 경우 CA 열전대, 溫水の 경우는 CC 열전대였다.

배연개스의 일산화탄소 함량은 일산화탄소 분석기로써, 溫水の 순환유량은 유량계(Rota-meter)로써 측정기간동안 6분 간격으로 측정하였다.

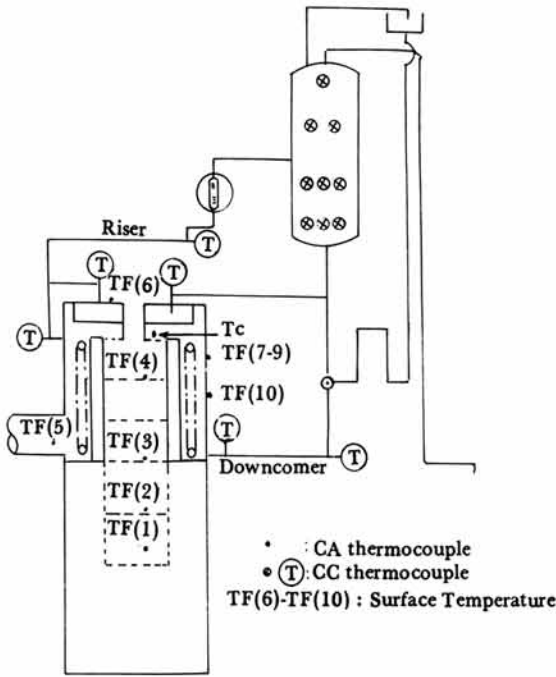


Fig. 5. Locations of thermocouples.

그림 5는 시스템의 溫度 측정 위치를 나타낸 것이다.

3. 結果 및 考察

燃燒機의 중요 作動因子인 왕겨供給量, 공기供給量, 燃燒표면 높이가 시스템의 性能에 미치는 영향을 분석할 때, 각 因子들의 영향이 뚜렷하게 나타났으므로 통계처리는 하지 않았다.

가. 燃燒機 內의 溫度 分布

燃燒機 內의 溫度 分布는 과잉공기에는 영향을 거의 받지 않고 燃燒표면 높이와 왕겨 供給量에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

그림 6은 평판형 열교환기를 이용하지 않고, 과잉공기 70%, 燃燒표면 높이가 28cm에서 왕겨 供給量에 따른 燃燒機 內의 溫度 分布를 나타낸 것이다. 그림에서 왕겨 供給量이 증가할수록 각 지점의 溫度는 증가하나 溫度 分布 모양은 거의 비슷하다. 溫度 分布는 燃燒물질의 燃燒표면 부근(TF(3))이 570°C 이상으로 가장 높고, 燃燒표면으로부터 燃燒실 상단으로 올라갈수록 서서히 감소하나 연소표면 아래로는 급감하는 경향을 보이고 있다. 이것은 燃燒실

상부는 가연성 기체가 燃燒되기 때문에 溫度가 서서히 감소하나 燃燒실 하부는 왕겨가 燃燒표면 부근에서 고정탄소의 燃燒가 거의 완료되기 때문에 溫度가 급감하는 것으로 생각된다.

본 왕겨 燃燒機의 최소 왕겨 供給量 0.9-1.0kg/h에서 燃燒표면 부근의 溫度는 500°C 정도였으며, 燃燒표면 부근의 溫度가 약 500°C 미만으로 유지되면 왕겨가 화염을 일으키지 못하여 연속적인 燃燒가 불가능하였다.

배연가스 溫度(TF(5))는 약 180~250°C의 分布를 보이는데 이것은 박승제동의 열교환기를 설치하지 않았을 때보다 약 100°C 이상 낮은 溫度이다.

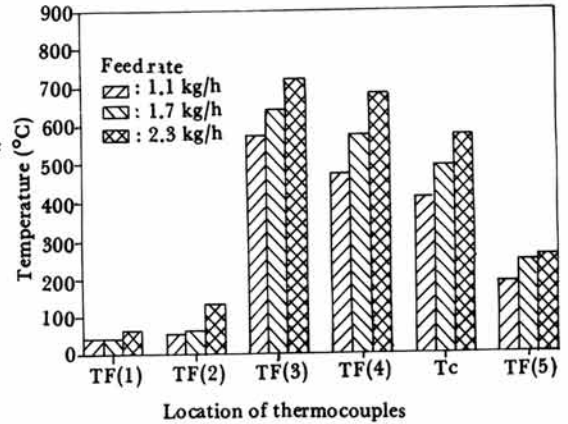


Fig. 6. Temperature distributions at the given locations in the furnace with rice hull feed rates under the excess air of 70% and filling height of 28cm.

Note: TF(1), TF(2) : 22cm, 10cm below the burning surface.

TF(3), TF(4) : 3cm, 22cm above the burning surface.

Tc : 33cm above the burning surface (Top zone of the combustion chamber)

TF(5) : Chimney inlet

나. 燃燒機 作動의 自動화

燃燒機 作動의 自動화 裝置로서 개발된 왕겨 공급裝置, 착화 및 灰分 처리裝置는 作動이 원활하였다.

본 왕겨 燃燒機의 作動을 自動화시키기 위하여 착화 및 자동 灰分 처리방법 모색에 대한 實驗을 수행

한 결과 2-라-2)항과 같은 作動의 自動化를 위한 자료를 수집하였다.

作動의 自動化에서 제일 중요한 점은 燃燒표면 높이를 일정하게 유지시키는 것인데, 이것은 燃燒실 상단의 溫度(制御溫度)를 이용하여 燃燒표면 높이를 감지하고 자동으로 灰分을 灰分통으로 낙하시키는 방법이 가장 안전하고 편리한 방법으로 분석되었다.

그림 7은 實驗 처리별 制御溫度를 나타낸 것인데, 制御溫度는 공기供給量에는 크게 영향을 받지 않으나 왕겨供給량과 燃燒표면 높이에 큰 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 그림에서와 같이 왕겨供給량과 燃燒표면 높이가 증가할수록 制御溫度는 증가하므로, 자동 灰分 처리를 위해 하나의 制御溫度만 이용하여도 왕겨供給량에 따라 적당한 燃燒표면 높이를 유지할 수 있었다.

착화시 석유의 供給量은 10cc/min 정도가 적당하였고, 소모되는 석유량은 왕겨供給량이 적을수록 증가하게 되며, 왕겨供給량 1.1kg/h에서 최대 약 500cc였다.

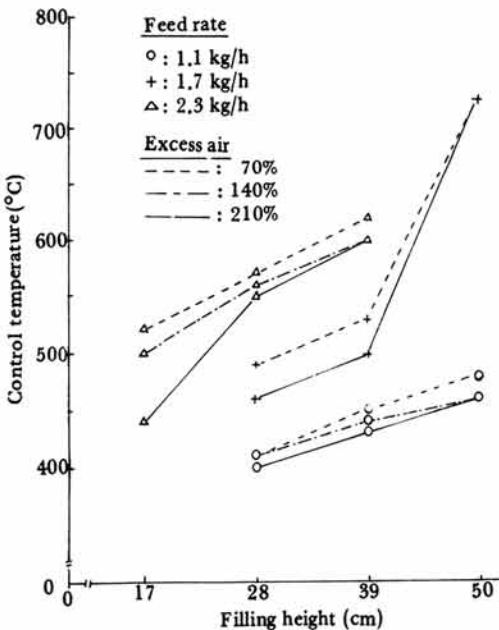


Fig. 7. Effect of filling height on the control temperature set for ash removal by feed rate and excess air.

다 燃燒效率

1) 왕겨의 燃燒率

왕겨의 燃燒率은 각 實驗 처리마다 채취한 灰分 시료를 Muffle furnace의 溫度 600°C에서 2시간동안 완전燃燒시켜 시료내에 잔존되어 있던 유기물 含量과 灰分量을 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$R_b = (X \times Q_h - (A - A \times M - B) \times Q_c) / (X \times Q_h)$$

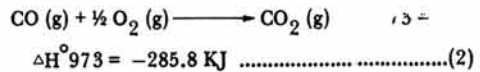
$$X = B/C \dots\dots\dots(1)$$

여기서,

- Rb : 왕겨의 燃燒率(소수)
- A : 灰分시료의 무게(kg)
- B : 灰分시료를 완전燃燒시킨 후의 무게(kg)
- C : 實驗材料 왕겨의 灰分 含量(소수)
- M : 灰分시료의 수분 含量(w.b., 소수)
- Q_h : 實驗材料 왕겨의 발열량(15600KJ/kg)
- Q_c : 고정탄소의 發熱量(32100 KJ/kg)

2) 왕겨의 燃燒效率(Combustion efficiency)

일산화탄소가 정압과정에서 O₂와 반응하여 CO₂가 될 때의 화학반응식은 다음과 같다.



여기서 ΔH₉₇₃^o은 700°C에서의 이 반응식의 發熱량이다. 그런데 실제로 연소기 燃燒室 내에서 이 반응이 일어날 수 있는 燃燒室 상부의 溫度가 약 700°C에 가까우므로 燃燒效率 계산은 다음식을 이용하였다.

$$E_c = (Q_h \times F \times R_b - Mol \times 285.8) / (Q_h \times F) \dots\dots\dots(3)$$

$$Mol = (M1 \times F + A \times M2) \times B$$

여기서,

- F : 왕겨 供給量(kg/h)
- A : 과잉공기(소수)
- B : 배연가스내의 일산화탄소 含量(15600KJ/含量(부피비, 소수))
- M1 : 이론 배연가스의 물 수(150.6mol/kg)
- M2 : 이론 공기량의 mol 수(120.3mol/kg)
- Q_h : 實驗材料 왕겨의 發熱量(15600 KJ/kg)

모든 實驗처리에서 왕겨의 燃燒率은 96%이상, 燃燒機의 燃燒效率는 95%이상으로 분석되었다.

왕겨 供給量 1.7kg/h, 과잉공기 70%, 燃燒표면 높이가 28cm의 실험조건에서 함유율 22.4%(w.b.)의 왕겨를 燃燒시켰을때 함유율 12.3%(w.b.) 의 시료인 경우와 燃燒상태도 비슷하였으며, 왕겨의 燃燒率과

燃燒機의 燃燒效率도 1% 정도 적게 나타났을 뿐이었다. 따라서 본 燃燒機에서는 왕겨의 함수율 22.4%(w.b.)까지는 燃燒機의 燃燒效率에 차이가 없을 것으로 생각된다.

Jeon¹³⁾이 왕겨 공급과 공기 공급 및 灰分 처리를 수동으로 하였을 때 왕겨의 함수율이 약 16%(w.b.) 이상에서는 왕겨의 연소율이 90% 이하로 급감하여 함수율이 20% 정도에서는 燃燒率이 50% 정도 밖에 되지 않는다고 보고를 한 것과 비교하여 볼 때 본 燃燒機는 왕겨의 함수율이 상당히 높은 범위에서도 燃燒效率이 대단히 높은 장점이 있는 것으로 생각된다.

또 박승재 등이 열교환기가 설치되지 않은 왕겨 燃燒機의 燃燒 실험 결과 왕겨供給量 2kg/h 이하에서 燃燒效率이 90~95%였다고 보고를 한 것과 비교하여 볼 때 열교환기가 이용된 본 왕겨 燃燒機의 燃燒效率이 오히려 더 높았다. 이것으로 판단하여 볼 때 열교환기로의 열전달 때문에 燃燒室 内の 온도가 약간 낮아져도 燃燒표면 부근의 온도가 500°C 이상만 유지되면 燃燒效率에는 차이가 없는 것으로 생각된다. 그러나 열교환기를 이용할 때는 燃燒표면 부근의 온도를 500°C 이상으로 유지할 수 있는 최소 왕겨 供給量이 열교환기를 이용하지 않을 때에 비해 약간 증가하게 된다.

본 왕겨 燃燒機의 경우 코일형 열교환기를 이용

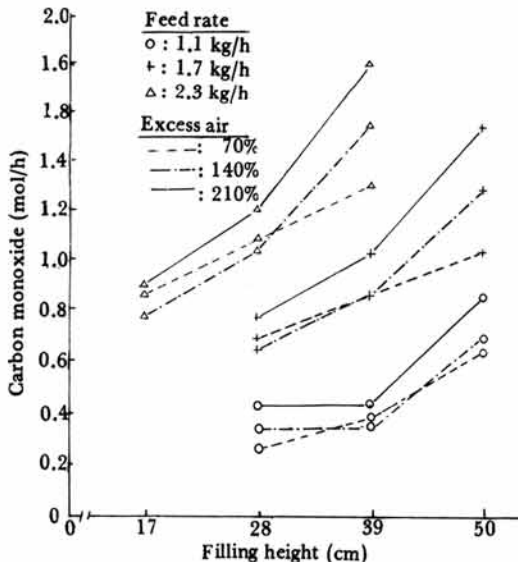


Fig. 8. Effect of filling height on the carbon monoxide in flue gas.

하였을 때의 최소 왕겨 供給量은 0.9-1.0kg/h로서, 열교환기를 이용하지 않았을 때보다 약 0.2kg/h 정도 많았다.

이상의 결과로 판단하여 볼 때 본 왕겨 燃燒機와 같은 소형의 왕겨 燃燒機도 온수 보일러 시스템에 충분히 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

그림 8은 실험 처리별 일산화탄소 발생량을 나타낸 것인데 일산화탄소 발생량도 공기 供給量에는 크게 영향을 받지 않고 왕겨 供給量과 燃燒表面 높이에 크게 영향을 받는 것으로 나타나 있다. 발생량은 0.25-1.8 mol/h로서 燃燒개스의 부피비로는 최대 0.3% 정도였다. 이량은 조명계 등⁶⁾의 왕겨 공급과 공기 공급을 무동력으로 하는 왕겨 燃燒 실험에서 일산화탄소 발생량이 부피비로 약 15% 정도라는 보고와 비교하여 볼 때 매우 적은 양이며 실제로는 무시할 수 있을 것으로 생각된다.

라. 열교환기 효율

溫水보일러 시스템의 溫水 순환은 燃燒室상부 벽면에 설치한 코일형 열교환기로부터 물이 데워져 밀도가 적어지기 때문에 축열조 하단으로부터 열교환기로 물이 흘러 들어가고 열교환기로부터 축열조 中部 혹은 上部로 溫水가 흘러 들어가는 자연순환이다.

열교환기의 效率는 왕겨의 燃燒에 의하여 발생된 熱量에 대한 열교환기를 통하여 溫水로 전달된 熱量의 비로서 정의하였는데 그것은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며 보일러 效率는 열교환기의 效率와 燃燒機 燃燒效率의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$E_e = \frac{\dot{M} \times C_p \times (T_o - T_i)}{Q_r \times F \times E_c} \dots\dots\dots(4)$$

여기서,

- Ee : 열교환기 效率(소수)
- M : 溫水의 순환유량(kg/h)
- Cp : 溫水의 정압비열(KJ/kg-°C)
- To : 열교환기 出口의 溫水 溫度(°C)
- Ti : 열교환기 入口의 溫水 溫度(°C)
- Qr : 공시재료 왕겨의 發熱量(KJ/kg)
- F : 왕겨 공급량(kg/h)
- Ec : 燃燒機의 燃燒效率(소수)

그림 9는 實驗처리별 코일형 열교환기의 效率를

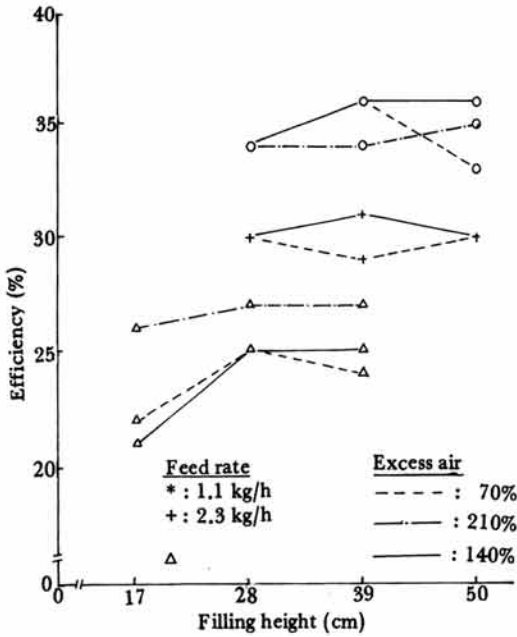


Fig. 9. Change in the efficiency of coil heat exchanger depending on hull feed rate, excess air and filling height.

나타낸 것이다. 그림에서 열교환기의 效率은 21-36%까지의 분포를 보이고 있는데, 공기 공급량과 燃燒표면 높이에는 별 영향을 받지않고, 왕겨 공급량이 증가할수록 效率은 낮아지고 있다. 왕겨 공급량 2.3kg/h, 燃燒표면 높이 17cm일 때는 아주 낮은 效率을 보이고 있는데 이것은 열교환기가 설치되지 않은 燃燒室 아래부분에 燃燒표면 높이가 유지되었기 때문에 생긴다. 따라서 열교환기의 效率을 높이기 위해서는 최저 燃燒표면 높이가 열교환기 하단의 위치 이상이 되도록 해야 하며 열교환기로의 열전달은 대부분 燃燒室 벽면을 통하여 이루어지는 것으로 생각된다.

또 열교환기의 效率은 溫水 순환유량보다도 열교환기로 들어가는 溫水의 溫度에 더 큰 영향을 받았는데, 이것은 열교환기 아래부분에서의 열교환이 많고, 溫水의 자연순환 상태에서는 溫水순환 유량의 차가 크지 않기 때문으로 생각된다.

그림10은 燃燒표면 높이 28cm일 때 왕겨 공급량에 따른 코일형 열교환기 效率과 열교환기에서 이루어진 열전달량을 나타낸 것인데, 왕겨 공급량이 증가할수록 열교환기의 效率은 34%에서 26%까지 감소하나 열전달량은 약 5.7MJ/h에서 8.8MJ/h 가

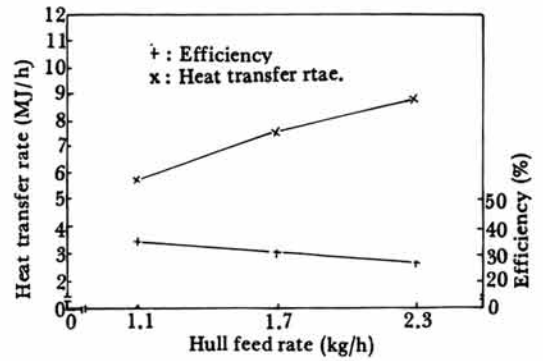


Fig. 10. Effect of hull feed rates on the efficiency and the heat transfer rate of coil heat exchanger at the filling height of 28cm.

Table 4. Comparison of experimental results at different moisture contents of rice hull under the rice hull feed rate of 1.7kg/h, excess air of 70% and filling height of 28 cm.

Item	Moisture content (w.b.)	
	12.3%	22.4%
Combustion efficiency (%)	96	95
Efficiency of coil heat exchanger (%)	33.9	35.3
Water flow rate of coil heat exchanger (kg/h)	47.3	44.5
Control temperature (°C)	490	460
Temperature at 3cm above the burning surface (°C)	640	630
Temperature at 22cm above(°C) the burning surface	580	560
Temperature at chimney inlet (°C)	240	240

지 증가하고 있다.

표 4는 溫水 상승관(열교환기의 溫水 出口와 축열조를 연결한 관)의 높이를 45cm 높였을 때 왕겨 공급량 1.7kg/h, 과잉공기 70%, 燃燒표면 높이 28cm에서 왕겨의 함수율에 대한 實驗 결과를 비교한 것이다. 왕겨의 함수율이 높은 22.4%(w.b.)인 경우는 함수율이 낮은 경우와 비교할 때 燃燒機 燃燒效率과 燃燒室 내의 溫度는 약간 낮으나 열교환기의 效率은 조금 더 높다. 이것은 건물기준으로 환산하면 같은 왕겨 공급량일지라도 함수율이 높은 경우는 낮은 경우에 비해 공급량이 더 적기 때문으로 생각된다.

표 5는 溫水 상승관이 높은 경우에서 두경에 설

Table 5. Comparison of experimental results when the flat plate heat exchanger used and when not used at the hull feed rate of 1.7kg/h, excess air of 70% and filling height of 28cm.

Item \ Treatment	Without flat plate heat exchanger	With flat plate heat exchanger
Combustion efficiency (%)	96	96
Efficiency of heat exchanger (%)	33.9	48.0
Water flow rate of heat exchanger (kg/h)	47.3	66.7
Control temperature (°C)	490	480
Temperature at 3cm above the burning surface (°C)	640	640
Temperature at 22cm above the burning surface (°C)	580	570
Temperature at chimney inlet (°C)	240	240

치된 평판형 열교환기를 추가로 이용하였을 때를 이용하지 않았을 때와 비교한 것이다. 표에서 평판형 열교환기를 추가로 이용하였을 때는 이용하지 않았을 때에 비해 열교환기의 效率는 약 14%, 溫水순환 유량은 약 20kg/h 정도 증가하나 燃燒機내의 溫度 분포와 燃燒機의 燃燒效率에는 차이가 없으므로 나타나고 있다.

마. 最適 作動條件

본 왕겨 燃燒機의 최적작동조건은 實驗의 결과와 燃燒과정의 관찰을 통하여 분석 판단하였다.

공기 공급량은 과잉공기 70-100% 정도가 좋을 것으로 판단되는데 이것은 Shimizu 등의 결과와 같다. 과잉 공기가 너무 많으면 燃燒室 내의 溫度도 저하될 뿐만 아니라 화분이나 왕겨중의 가벼운 異物質등이 燃燒室 밖으로 날리기 쉽기 때문에 더욱 불리하다고 생각된다. 왕겨 공급량은 본 왕겨 燃燒機의 제원에서는 1.3kg/h-2.0kg/h 정도가 적당하다고 판단되는데, 이 범위의 왕겨 공급량에서 制御 溫度를 약 500°C로 한다면 왕겨 공급량에 따라 적당한 燃燒표면 높이를 유지하면서 燃燒效率도 95% 이상으로 높을 것으로 생각된다.

燃燒표면 높이는 작동조건에서 매우 중요한 것으로서 왕겨 공급량에 따라 달라져야 한다. 燃燒표면 높이가 너무 높으면 燃燒室 밖으로 화염이 넘어간

다는 사실이 實驗에서 관찰되었는데, 이 현상은 가연성 가스 燃燒공간이 가연성 가스의 燃燒가 燃燒室 내에서 완전히 이루어질 수 있을 만큼 크지 못하기 때문으로 생각된다. 이러한 이유로 일산화탄소 발생량이 燃燒표면 높이가 증가할수록 증가하였다고 판단된다. 따라서 왕겨 공급량이 많을수록 가연성 가스가 많아지기 때문에 가연성 가스의 燃燒공간도 커져야 하므로 燃燒표면 높이는 낮게 유지시켜야 한다.

본 시스템에서 燃燒표면 높이 유지를 위한 자동 회분처리 방법은 왕겨 공급량이 많을수록 燃燒표면 높이는 낮게 유지되도록 되어있다.

왕겨 공급량에 따른 적당한 燃燒표면 높이를 결정하기 위하여 왕겨투입율을 다음과 같이 정의하여 이용하였다.

$$\text{왕겨투입율} = \frac{\text{왕겨공급량(kg/h)}}{\text{가연성 가스 燃燒공간(m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (5)$$

표 6은 實驗처리별로 왕겨 투입율을 나타낸 것인데, 왕겨투입율의 임계치는 약 170-190kg/h-m³로 분석되었다. 이 임계치의 實驗조건에서부터 화염이 燃燒室 밖으로 넘어오는 현상이 발견되었다.

본 實驗의 결과 분석과 實驗에서 관찰한 결과로 판단하여 볼 때 왕겨 공급량에 따라 왕겨 투입율은 약 150kg/h-m³ 정도가 되도록 燃燒표면 높이를 유지하는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다.

바. 시스템의 改善點 分析

본 시작기의 문제점을 파악하기 위하여 마 항의 최적 작동조건에서 48시간 연속 燃燒實驗을 수행하였다. 연속 燃燒實驗에서 작동의 자동화에는 이상이 발생되지 않았으나 화분과 왕겨중의 미세한 異物質 등의 일부가 날려서 燃燒室 밖의 열교환기와 배연 가스 통로에 누적되는 문제점은 발생하였다. 이 문제점은 회분과 異物質등이 燃燒室 밖으로 날려나가는 것을 막기 위하여 燃燒室 상단에 설치한 다공철 관을 좀 더 양호하게 설치한다면 상당한 수준까지는 해소시킬수 있겠지만 완전히 해소시키는 것은 어려울 것으로 생각된다. 특히 이 문제점은 코일형 열교환기의 效率도 저하시키게 되므로 주기적으로 열교환기와 같이 청소를 해주는 방법으로 보완하여야 할 것으로 생각된다.

또 공기 공급을 위한 팬의 소모 전력은 평균 75

W 정도로서 왕겨 공급장치와 자동 회분처리장치에 이용된 모터의 소모 전력 15W 정도에 비해 비교적 많은 편이었다. 따라서 공기 공급관의 직경을 더 크게 해야 할 것으로 생각된다.

본 시스템에서 코일형 열교환기의 효율은 평균 30% 정도로서 비교적 낮은 편이었다. 이것은 본 시스템이 實驗用으로 제작 구성되었기 때문에 燃燒室 내의 溫度 측정장치와 燃燒과정 관찰구등이 있어 열교환기가 양호하게 설치되지 못하였기 때문으로 생각된다.

코일형 열교환기의 효율을 향상시키기 위해서는 코일형 열교환기의 높이를 증가시키고 열교환기와 밀착되어 있는 燃燒室 토관의 두께나 토관재료의 열전도계수를 적절히 조절해야 할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

뚜껑 부분에 설치된 평판형 열교환기를 추가로 이용하면 열교환기의 효율은 약 14-15%정도 향상시킬수 있었지만 燃燒機의 뚜껑을 여는데 어려움이 있으므로 이 문제점을 해결하기 위한 연구가 필요하다.

Table 6. Ratio of hull feed rate (kg/h) to combustion space (m³) of volatile gas to determine the acceptable filling height.

Filling height (cm) \ Feed rate (kg/h)	17	28	39	50
1.1		83	125	250
1.7		129	193*	386
2.3	131	174*	261	

* : Critical ratio

4. 結 論

本 研究에서는 農家에서 손쉽게 利用할 수 있는 多目的用 小型 왕겨 燃燒機의 溫水보일러 시스템을 開發할 目的으로 center burner 형 小型 왕겨 燃燒機의 作動을 自動化할 수 있는 方法을 究明하고, 主要한 作動因子가 시스템의 性能에 미치는 영향을 分析하였다.

분석된 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 燃燒表面 부근의 溫度가 약 500℃ 以下가 되면 왕겨가 화염을 일으키지 못하여 연속적인 燃燒가 不可能한 것으로 分析되었는데, 本 왕겨 燃燒機

의 最小 왕겨 供給量은 약 0.9-1.0kg/h 였다.

2. 燃燒機 作動의 自動化를 위하여 制御溫度를 감지해야 할 위치는 燃燒室 上端이 適合하였으며, 하나의 制御溫度로써 왕겨 供給量에 따른 適當한 燃燒表面 높이를 制御할 수 있었다.

3. 燃燒表面 높이는 일산화탄소 發生에 큰 영향을 미치는데, 적정 높이 이상으로 높아질수록 일산화탄소 發生量은 급증하였으며 本 實驗에서는 最大 發生量이 부피비로 0.3% 정도였다. 왕겨 供給量에 따른 最適 燃燒表面 높이는 可燃性 氣의 燃燒空間 부피에 對한 왕겨 供給率로 表示하였을 때 약 150kg/m³-h로 分析되었다.

4. 왕겨 供給量 1.1-2.3kg/h 범위에서 왕겨의 含水率 22.4%(w.b.) 以下일 때 燃燒機의 燃燒效率는 95% 以上이었다. 과잉공기는 70% 이상에서 燃燒效率에 별 영향을 미치지 않았으며, 燃燒表面 높이도 17cm 以上에서 별 영향을 미치지 않았다.

5. 本 왕겨 燃燒機에서 熱交換器를 利用했을 때는 利用하지 않았을 때에 비해 연속 연소가 가능한 最小 왕겨 供給量만 약 0.2kg/h 정도 증가할 뿐 燃燒效率과 作動의 自動化 등에는 별 차이를 보이지 않았다.

6. 本 燃燒機의 最適 作動條件은 왕겨 供給量 1.3-2.0kg/h, 과잉공기 70-100%, 制御溫度 500-510℃로 分析되었다.

7. 코일 열교환기의 효율은 왕겨 供給量에는 큰 영향을 받았으나 과잉공기와 燃燒表面 높이에는 별 영향을 받지 않았다.

왕겨 供給量 1.1, 1.7, 2.3kg/h에서 코일 열교환기의 효율은 각각 평균 34, 30, 25%정도였으며, 코일 열교환기를 통하여 전달된 熱量은 5.7, 7.6, 8.8 MJ/h 였다. 뚜껑에 設置된 평판형 열교환기를 코일 열교환기와 더불어 利用할 경우 熱交換器의 總效率는 48% 정도였다.

8. 열교환기의 효율은 溫水 상승관의 높이와 溫水 순환유량에는 별 영향을 받지 않았으나, 열교환기로 들어가는 溫水의 溫度가 증가할수록 약간씩 감소하는 경향을 보였다.

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. 박인석. 1981. 보일러 자동제어의 基本 動作에 關한 考察. 에너지研究 4(6): 89-109.
 3. 朴勝濟, 盧祥夏. 1983. 왕겨 燃燒機의 性能에 影響을 미치는 設計 및 作動因子에 關한 研究. 韓國農業機械學會誌 8(2): 39-48.
 4. 裴洵勳. 1977. 온돌의 熱效率. 大韓建築學會誌 21(75): 21-25.
 5. 서정일外. 1982. 보일러의 效率向上을 위한 燃燒補助裝置에 關한 研究. 태양에너지 2(2): 11-20.
 6. 趙明濟外. 1981. 왕겨 燃燒 보일러 開發에 關한 研究. 에너지 4(2): 65-73.
 7. 韓國動力資源研究所. 1981. 에너지 센서스 結果 報告書.
 8. 한국열관리사회. 1981. 溫水보일러 시공 教育 敎재.
 9. Beagle, E.C. 1978. Rice husk convention to energy. FAO Agricultural service bulletin.
 10. Ebeling, J.M. & B.M. Jenkins. 1985. Physical and chemical properties of bio-mass fuels. Trans. of the ASAE 28(3): 898-902.
 11. Gilchrist, J.D. 1977. Fuels, furnaces and refractories. Pergamon press.
 12. Jaiswal, D.K. & R.C. Maheswari. 1980. Development and testing of a boilerless husk-fired parboiling system. Indian J. Agri. Sci. 50(11):862-868.
 13. Jeon, Y.W. 1982. Design and development of a mutli-purpose dryer using non-conventional source of energy. IRRI.
 14. Robertson, W.S. 1981. Boiler efficiency and safty. Macmillan Press.
 15. Shimizu, H., A. Kanno & Y. Nishiyama. 1978. Physical properties of rice hull as the fuel. JSAM 39(4):477-481.
 16. Shimizu, H. & T. Kimura. 1981. Study on volatile matter during combustion of rice hull. JSAM 42(3):383-388.
 17. Shimizu, H. & T. Kimura. 1985. Direct combustion properties of rice hull. JSAM 46(1):633-638.