

## 숯가마 폐열을 이용한 건조시스템 개발\*

# Development of Drying System Using Waste Heat of Charcoal Burner

조기현\* 백 이\*\* 이정택\* 정형길\* 박완서

K. H. Cho Y. Paek J. T Lee H. K Chung W. S Park

\*Dept. of Vehicle Machines, Kyongdo Provincial College, Yechon, Korea

\*\*National Institute of Agricultural Engineering R. D. A.

## 서 론

최근, 유류가 폭등으로 에너지 절감이 대두되면서 공장에서의 폐열을 회수하여 온수로 난방에 이용하는 사례가 증가하고 있다. 전국의 숯가마공장은 그리 많지 않지만 대부분 에너지 다소비형으로 골뚝의 폐열을 대기 중으로 버리고 있다. 이러한 폐열을 이용할 경우 국가적인 측면에서도 에너지 재이용에 크게 기여 할 것으로 사료된다. 특히, 제 1차 오일쇼크 후 보일러폐열회수를 이용하는 시스템은 꾸준히 연구되어 상업화가 되었다. 폐열회수에 관한 연구로는 열회수에 관한 연구로서(1985)등은 농용기관의 배기가스 폐열을 회수하여 농산물을 건조에 관한 연구가 발표되었다. 강(2001)은 온풍난방기 배기열회수시험에서 히트파이프식 열교환기로 시험결과 약 85%의 배기열을 회수하여 온실난방비를 16%감소시킬 수 있었고, 또 다른 온풍난방기의 연구로 배기열을 회수하여 온수로 변환하여 지중 난방용으로 이용한 결과 배기열의 63%를 회수할 수 있다고 보고하였다(김,2000). 박(1986)은 보일러의 집진 탈황을 겸한 폐열회수장치에 관한 연구로서 물과 배가스의 직접접촉에 의한 실험으로 전열능력을 나타내는 변수인 물질열전달계수를 실험적으로 측정하여 pilot plant 건설에 대한 기초자료에 활용하고자 하였다<sup>3)</sup>. 이(1983)등은 증기응축용 액주식 직접접촉 열교환기의 전열특성에 관한 연구로서<sup>5)</sup> 수증기 포화압력을 조절하여 체적열전달계수를 구했으며, 또한 열평형조건으로부터 노에서 배출되는 배기가스의 열량과 온도를 구하여 공기에열기에 대한 총합열전달계수를<sup>1)</sup> 구하는 것이 Homan(1997)에 의해 경험적으로 구하는 것이 일반적이었다. 정(1898)은 총합열전달계수를 가정하여 열교환할 전열면적을 구하고 구하고자하는 전열면의 형상을 가정하여 총합열전달계수를<sup>6)</sup> 계산하고 동시에 회수하고자하는 열량에 적합한 전열면적을 구하는 방법을 사용하였다. 박(1992)은 배가의 폐열회수를 위한 열교환기의 열전달현상에 관한 연구<sup>4)</sup>로서 폐열회수장치를 이용할 경우 10%정도의 보일러 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 백(2003)등은 농산물건조기의 배풍열을 회수하여 이용할 수 있는 분리형열교환기를 개발하여 고추건조시 관행에 대비 43%의 연료를 절감할수있다고 보고하였다. 일반적으로 농산물을 건조할 때 건조실의 온도

\* 본 연구는 산학연공동연구로서 중소기업청(2004년 과제)육성지원사업으로 수행 되었음

는 45~55℃ 정도의 저온열이면 충분하다. 본 연구에서는 숯가마 굴뚝의 폐열을 회수하여 이를 온수로 만들어 공급하기 위한 것으로 굴뚝의 열을 물과 개스의 교환으로 열을 회수하여 건조장치에 이용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 가. 실험장치

본 연구에서 개발된 숯가마폐열회수 건조시스템의 주요 구성부는 그림1에서 나타난 바와 같이 숯가마, 연통, 목초액회수기, 열회수온수기, 1,2,3차열교환기, 건조시스템 및 측정시스템으로 구성되어 있다. 숯가마내의 크기는 가로 320cm, 세로 330cm, 중심부의 높이가 190cm 정도로 제작하였으며, 숯가마입구는 높이 150cm, 폭 50cm이며, 천장은 둥근형태로 열을 가장 많이 받는 천장은 뚜꺼운 철판과 망을 대고 그 위에 진흙을 덮고 굵은 빔으로 지탱하였다. 연통은 가마뒷부분에 파이프직경 10cm, 길이 400cm로 부식방지를 위해 스텐레스관이며, 관주변에 열교환장치를 부착후 끝부분은 빗물방지용 캡을 씌웠다. 목초액회수기는 FRP를 사용하였으며, 직경 50cm, 높이 70cm이고, 열회수기는 이중 PE이고 직경 150cm, 높이 200cm, 열교환기는 코일형이다. 폐열을 이용할 수 있는 건조장치는 가로 200cm, 세로 400cm, 높이 220cm로 재질은 발포폴리에틸렌을 사용하였다. 숯가마 폐열회수 건조시스템의 주요제원과 일반적인 사양은 표1과 같다.

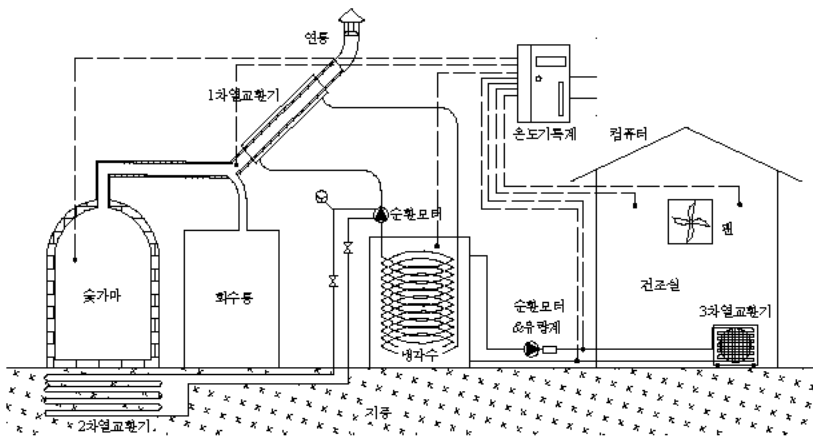


Fig. 1 Schematic diagram of Drying System Using Charcoal Burner.

**Table 1 Specifications of Drying System and the Charcoal Burner.**

Item		Specifications
charcoal burner(L*W*H)		3200*3300*1900(mm)
water tank(φ*H)		500*700(mm)
drying chamber(L*W*H)		2000*4000*2200(mm)
fan		Airflow 65cmm
circulation pump		7200 ℓ /h
heat exchanger	heat exchanger.1(φ*L)	100*4000(mm)
	heat. exchanger.2(φ*L)	40*16000(mm)
	heat exchanger.3(L*W)	300*300(mm)

**나. 실험방법**

본 실험은 경북 영주시에 설치한 숯가마 폐열회수 건조장치를 사용하였다. 온도계측을 위해 숯가마, 연통, 열교환기 건조장치 입·출구에 각각 온도를 계측할 수 있도록 고온측정용 센서를 내부에 장착하였다. 온도계측센서는 열전대(K타입)를 사용하였으며 계측점은 각 측정부위 내부의 중앙점에 설치하여 센서와 연결된 자동기록계(YOKOGAWA DR30, Japan)는 각각의 온도변화를 연속적으로 1시간마다 용지에 기록하도록 설정하였으며, 또한 컴퓨터에 연결하여 자동 저장하도록 하였다.

**다. 열회수 성능의 평가법**

숯가마폐열회수장치의 성능을 평가하는 데에는 연통에서 배출되는 공기의 온도수준, 열회수효율, 성적계수 등이 있는데 연통에서 배출되는 공기의 온도수준과 그 이용목적이나 방법에 따라 직접 또는 간접적으로 사용되어지며 다음과 같이 정의 되어진다.

열회수량은 단위시간당 연통주변을 통과한 냉각수가 획득한 열량으로서 냉각수의 유량, 비열, 온도차에 따라 결정된다. 연통 주위를 통과하는 냉각수의 유량은 유속을 측정 계산하였고 비열은 1kJ/kg℃, 온도차는 측정값으로 계산하였다.

$$Q_{out} = M * C_p * (T_{in} - T_{out}) \tag{1}$$

- 여기서,  $Q_{out}$  : 열회수량(kJ/s)
- $M$  : 냉각수유량(m<sup>3</sup>/s)
- $C_p$  : 냉각수비열(kJ/kg.℃)
- $T_{in}$  : 냉각수유입온도(℃)
- $T_{out}$  : 냉각수유출온도(℃)

최대열회수 가능량은 연통을 통과하는 냉각수가 획득할 수 있는 최대열량과 숯가마 바닥의 배관을 통과하는 냉각수의 열량으로서 최대회수열량의 경우는 연통과 숯가마바닥으로부터 회수한 열량의 합이 건조실로 들어오는 열량과 같은 열량으로 조화되어 나오는 경우가 될 것이다. 이것을 수식화하면

$$Q_{max} = M * C_p * (T_{in} - T_{out}) \tag{2}$$

- 여기서,  $Q_{max}$  : 열회수량(kJ/s)
- $M$  : 냉각수유량(m<sup>3</sup>/s)
- $C_p$  : 냉각수비열(kJ/kg.℃)

$T_{in}$  : 냉각수유출온도(℃)

$T_{dryer}$  : 건조실유입온도(℃)

열회수효율( $\eta$ )은 숯가마의 최대투입열량에 대한 실제 열회수량의 비율로 나타낸다.

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{max}} * 100(\%) \quad (3)$$

## 결과 및 고찰

가. 숯가마, 열회수장치 및 건조장치의 온도변화

그림 2은 숯 5000kg을 1회 굽어 낼 때 숯가마, 열회수장치 및 건조장치의 시간별 온도변화를 알아보기 위해 숯가마 내부, 1,2,3차 열교환기 및 건조실의 내부온도를 나타내고 있다. 전체적인 경향을 보면 숯가마 내부의 온도는 10시간이 경과 후 약 800~900℃로 일반적으로 비교적 균일하게 나타났으며, 연통의 배기온도는 185℃, 1차 열교환기의 출구온도는 65℃, 2차 열교환기의 출구온도는 39℃, 3차 열교환기의 출구온도는 20℃로 나타났다. 또한 건조실의 온도는 20℃로 나타났다.

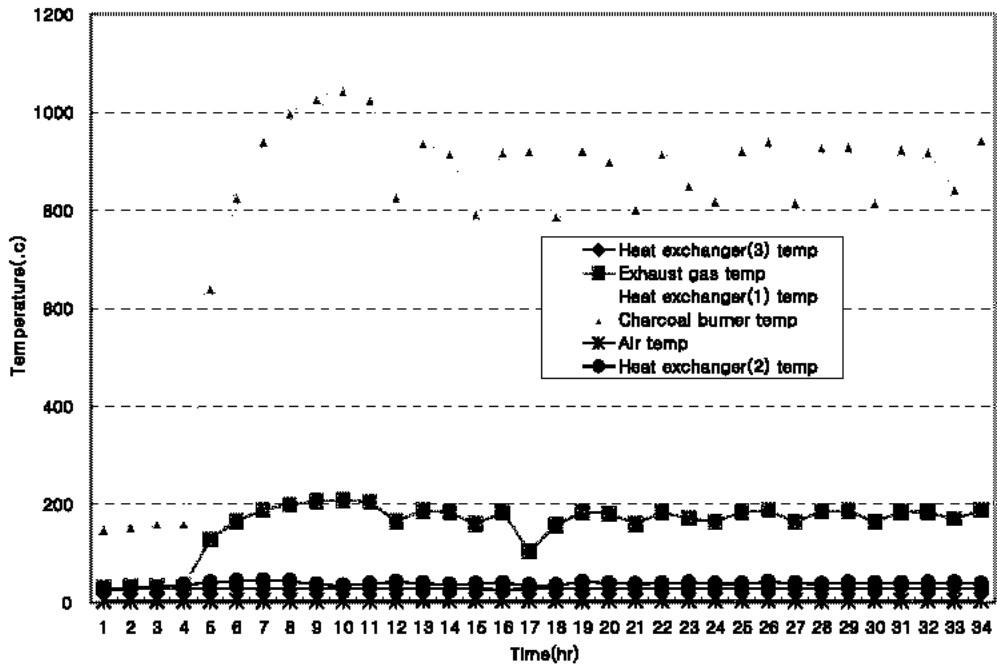


Fig 2. Temperature variation of the Drying System Using Charcoal Burner.

나. 숯가마 연통 및 바닥으로부터의 열회수량

연속운전에서 숯가마의 온도로부터 시스템의 열교환량은 그림 3에 나타난 바와 같으며, 열회수량은 관계식(1)을 이용하여 계산하였다. 그림을 살펴보면 열교환기의 온도차가 클수록 열회수량은 증가하게 되는데 숯가마 연통으로부터의 열회수량은 4200kJ/로

나타났고, 숯가마 바닥으로부터의 열회수량은 13,000kJ/h로 나타나 전체 회수열량은 17200kJ/h났음을 알 수있었다

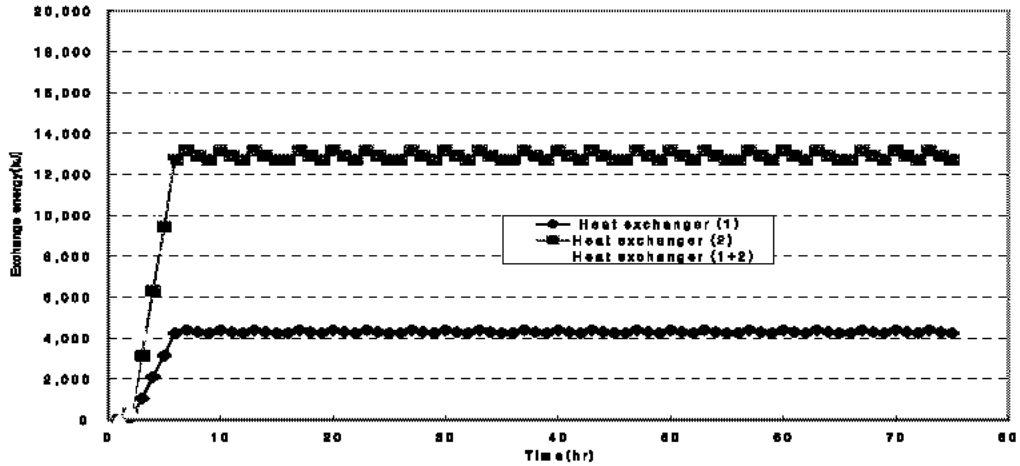


Fig 3. Exchanged energy quantity depending on Charcoal Burner.

최대열회수 가능량은 연통을 통과하는 냉각수가 획득할 수 있는 최대열량과 숯가마 바닥의 배관을 통과하는 냉각수의 열량으로서 최대회수열량의 경우는 연통과 숯가마바닥으로부터 회수한 열량의 합이 건조실로 들어오는 열량과 같은 열량으로 조화되어 나오는 경우가 될 것이다.

다. 열회수 효율

그림 4에서 나타난 바와 같이 열교환기 입,출구 온도와 외기온도와의 차이를 변수로

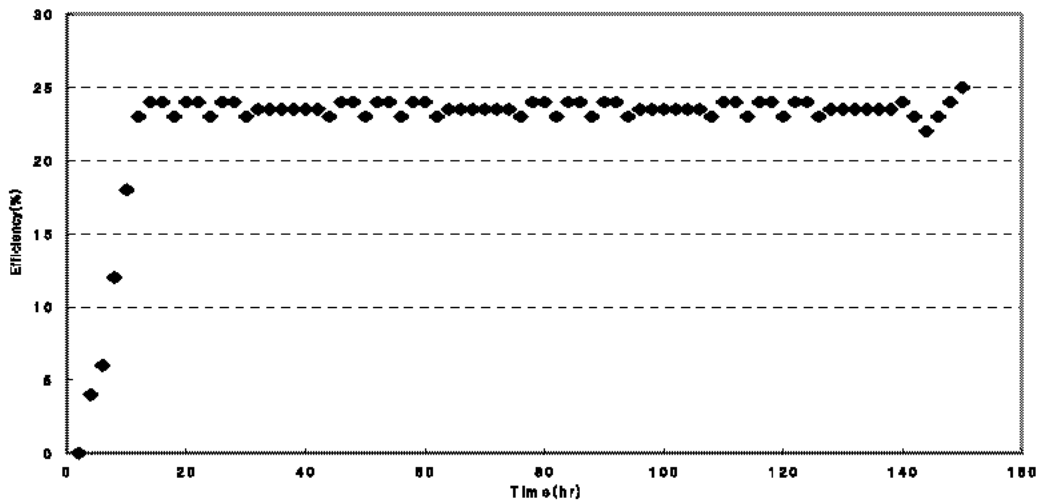


Fig 4. Efficiency variation of the drying system using charcoal burner.

한 열회수효율의 변화현상에서 확실히 알 수 있는데 그 온도차가 크지 않을 때는 효율이 낮아지는데 이는 열회수가능량이 아주 줄어들게 되고 실제 회수량도 아주 적어지게

된다. 유입온도와 외기온도의 차이가 커지게 되면 열회수 효율은 대개 23~24%범위에 분포함을 알 수 있었다.

## 요약 및 결론

본 연구의 목적은 솥을 굽을 때 솥가마의 바닥 및 연통으로 버려지는 폐열을 회수하여 재이용하는 시스템으로 솥가마 폐열회수 건조시스템을 개발하였다. 시스템의 구조는 솥가마, 열교환기, 온수저장탱크 및 건조실로 구성되어 있다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 솥가마의 바닥열과 연통으로 버려지는 폐열을 회수하여 재이용할 수 있는 폐열회수 건조시스템을 개발하였으며, 솥가마에 1회 투입되는 참나무는 5000kg으로 전체 발열량은 60000kJ로 나타났었다. 솥 5000kg을 1회 굽어 낼때 솥가마 내부의 온도는 내부의 온도는 10시간이 경과 후 약 800~900℃로 일반적으로 비교적 균일하게 나타났으며, 연통의 배기온도는 185℃, 1차 열교환기의 출구온도는 65℃, 2차 열교환기의 출구온도는 39℃, 3차 열교환기의 출구온도는 20℃로 나타났었다. 또한 건조실의 온도는 20℃로 나타났었다. 솥가마 연통으로부터의 열회수량은 4200kJ/h로 나타났고, 솥가마 바닥으로부터의 열회수량은 13,000kJ/h로 나타나 전체 회수열량은 17200kJ/h임을 알 수 있었다.. 최대열회수 가능량은 연통과 솥가마바닥으로부터 회수한 열량의 합이 건조실로 들어오는 열량과 같은 열량으로 조화되어 나오는 경우가 될 것이다 열회수 효율은 대개 23~24%범위에 분포함을 알 수 있었다.

## 인용문헌

1. 김영중, 유영선, 장진택, 강금춘, 이진중, 신정웅. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중 난방용 온수공급시스템의 열회수특성. 농업기계학회지. 25(3). (2000)
2. 서상룡, 유수남. 농용 내연기관 폐열의 열에너지 회수. 농업기계학회지 12(1). (1987)
3. 강금춘, 김영중, 유영선, 백 이, 이진중. 히트파이프를 이용한 온풍난방기 배기열회수 시스템의 열회수 특성. 농업기계학회지. 26(5). (2001)
3. 박영재. 1986. 보일러의 집진탈황을 겸한 폐열회수장치. 과학기술처 보고서. 한국동력자원연구소.
4. 박정래. 1992. 배가스의 폐열회수를 위한 직접접촉 열교환기에서의 열전달 현상연구. 석사학위논문. 중앙대학교.
5. 이병철, 한승탁, 김종보. 1983. 증기응축용 액주식 직접 접촉 열교환기의 전열특성에 관한 연구. 대한기계학회 추계학술대회. pp.326-330.
6. 정창훈. 1989. 공업로의 배기가스로부터 폐열회수에 관한 연구. 석사학위논문. 동아대학교.