

# 채소쓰레기를 이용한 바이오-열에너지 회수시스템 개발

## Heat Recovery System Using Vegetable Garbage of Bio-thermal Energy

백 이\*    김영중\*    유영선\*    강금춘\*    장진택\*\*    이현구\*\*\*  
 정회원    정회원    정회원    정회원    정회원  
 Y. Paek    Y. J. Kim    Y. S. Ryou    G. C. Kang    J. T. Chang    H. K. Lee

### 1. 서    론

최근, 유류가 폭등으로 에너지 절감이 대두되면서 공장에서의 폐열을 회수하여 온수로 난방에 이용하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 폐열을 이용할 경우 국가적인 측면에서도 에너지 재이용에 크게 기여 할 것으로 사료된다. 특히, 제 1차 오일쇼크 후 산업분야의 폐열회수를 이용하는 시스템은 꾸준히 연구되어 상업화가 되었다. 폐열회수에 관한 연구로는 열회수에 관한 연구로서(1985)등은 농용기관의 배기가스 폐열을 회수하여 농산물을 건조에 관한 연구가 발표되었다<sup>4)</sup>. 강(2001)은<sup>1)</sup> 온풍난방기 배기열회수시험에서 히트파이프식 열교환기로 시험결과 약 85%의 배기열을 회수하여 온실난방비를 16%감소시킬 수 있었고, 또 다른 온풍난방기의 연구로 배기열을 회수하여 온수로 변환하여<sup>2)</sup> 지중 난방용으로 이용한 결과 배기열의 63%를 회수할 수 있다고 보고하였다(김,2000). 박(1992)은 배가의 폐열회수를 위한 열교환기의 열전달현상에 관한 연구<sup>3)</sup>로서 폐열회수장치를 이용할 경우 10%정도의 보일러시스템의 효율을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 채소쓰레기 발효시 폐열을 회수하여 이를 온수로 만들어 공급하기 위한 것으로 발효실의 발효열을 회수하여 난방장치에 이용하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 실험장치

본 연구에서 개발된 음식물 발효폐열회수시스템의 주요 구성부는 그림1에서 나타난 바와 같이 발효사, 열교환기, 온수저장조, 발효시스템, 비닐온실 및 측정시스템으로 구성되어 있다. 발효사의 크기는 가로 800cm, 세로400cm, 중심부의 높이 260cm정도로 제작하였으며, 발효장 출입구는 높이240cm, 폭200cm이며, 벽과 천장은 단열재로 발효열을 외부로 손실되는 것을 최소화하였다. 발효장의 열교환기는 핀튜브방식으로 파이프직경 15.7cm, 길이15,000cm, 전열면적 55m<sup>2</sup>로 부식방지를 위해 동관 및 스테인레스핀이며, 관주변에 열교환효율을 높이

\* 농업공학연구소 생산기반공학과

\*\* 공주대학교 생물산업공학부

\*\*\* 유진바이오팜 영농조합법인

☆ 본 연구는 중소기업청 기술혁신과제의 연구비지원에 의하여 수행되었음

기 위해 핀을 부착 후 끝부분은 빗물방지용 캡을 씌웠다. 온수저장조는 이중 FRP를 사용하였으며, 직경 150cm, 높이 200cm이었다. 발효열 폐열회수시스템의 주요제원과 일반적인 사양은 표1과 같다. 발효열을 회수할 수 있는 장치는 발효장내에 핀튜브방식의 열교환기를 설치하고 발효열과 열매체유사이의 열교환에 의해 회수된 열량을 온수저장탱크에 저장하여 이용할 수 있는 구조로 되어있다. 발효장에서 발생된 발효열은 열교환기에 부착된 송풍기에 의해 1차, 2차, 3차열교환기를 통과하면서 열매체유와 열교환을 하고 열을 흡수한 열매체유는 순환펌프에 의해 온수저장탱크의 입·출구포트와 연결되도록 설계·제작하였다.

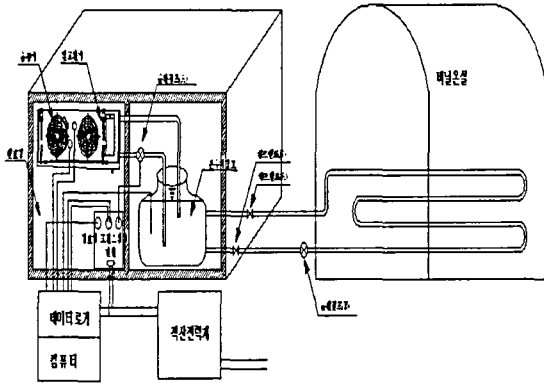


Fig. 1 Configuration of the Air-Water heat recovery system

Table 1. Specifications of the experimental equipments

Items	Specifications	
Type	Fin-Tube	
fluid	water	
fan	Airflow 65cmmm	
circulation pump(ℓ/h)	1000 ℓ/h	
heat exchanger	size (L·W·H,mm)	800×500×250
	heat area(m <sup>2</sup> )	55
	pipe size (mm)	L:150.000, t : 0.7, ϕ: 12.7

## 2.2 실험방법

본 실험은 경기도 안성에 설치한 채소쓰레기 폐열발효장치를 사용하였다. 온도계측을 위해 발효조, 온수저장조, 열교환기 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 4일간 10분마다 용지에 기록하도록 설정하였으며, 또한 컴퓨터에 연결하여 자동 저장하도록 하였다.

## 2.3 열회수 성능의 평가법

발효폐열회수장치의 성능을 평가하는 데에는 발효사에서 발생하는 공기의 온도수준, 열회수 효율, 성적계수 등이 있는데 발효사에서 배출되는 공기의 온도수준과 그 이용목적이나 방법에 따라 직접 또는 간접적으로 사용되어지며 다음과 같이 정의 되어진다.

열회수량은 단위시간당 열교환장치를 통과한 냉각수가 획득한 열량으로서 냉각수의 유량, 비열, 온도차에 따라 결정된다. 열교환장치 주위를 통과하는 냉각수의 유량은 유속을 측정 계산하였고 비열은 0.24kcal/kg℃, 온도차는 측정값으로 계산하였다.

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

여기서,  $Q_{out}$  : 열회수량(kcal/s),  $M$  : 냉각수유량( $m^3/s$ ),  $C_p$ :냉각수비열(kJ/kg.°C)

$T_{in}$  :냉각수유입온도(°C),  $T_{out}$ :냉각수유출온도(°C)

최대열회수 가능량은 열교환기를 통과하는 냉각수가 획득할 수 있는 최대열량으로서 최대회수열량의 경우는 열교환장치부터 회수한 열량이 온수저장조로 들어오는 열량과 같은 열량으로 조화되어 나오는 경우가 될 것이다. 이것을 수식화하면

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

여기서,  $Q_{max}$  : 열회수량(kcal/s),  $M$  : 냉각수유량( $m^3/s$ ),  $C_p$  : 냉각수비열(kcal/kg.°C)

$T_{in}$  : 냉각수유입온도(°C),  $T_{out}$  :열교환기유입온도(°C)

열회수효율( $\eta$ )은 발효사의 최대발효열량에 대한 실제 열회수량의 비율로 나타난다.

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

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 열회수장치의 입.출구 온도변화

그림 2은 채소쓰레기 15,000kg을 1회 투입하여 발효사, 열회수장치 입.출구 및 내.외부온도를 나타내고 있다. 전체적인 경향을 보면 발효 내부의 온도는 4일간 경과 후 약 61~50°C로 일반적으로 비교적 소폭변화를 보였고,, 발효사의 내부온도는 55~45°C, 냉각수의 입구온도는 17°C, 출구온도는 44~35°C, 또한 외부온도는 주간 28°C 야간 14°C로 일정한 주기를 나타내었다.

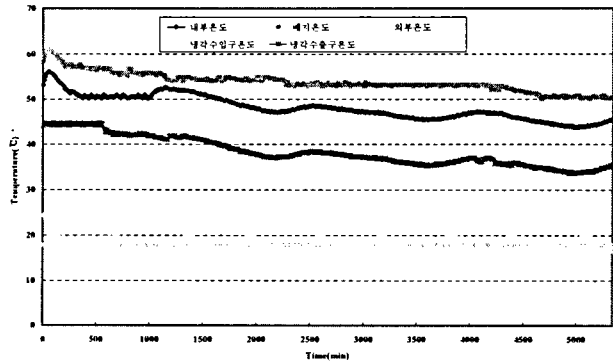


Fig. 2 Temperature variation of heat recovery system

#### 3.2 외부온도변화에 따른 회수열량

연속운전에서 발효사의 온도로부터 시스템의 열교환량은 그림 3에 나타난 바와 같으며, 열회수량은 관계식(1,2)을 이용하여 계산하였다. 그림3을 살펴보면 열교환기의 입.출구온도차에 의해 열회수량을 나타내는데 발효사로부터의 열회수량은 1,090~648kcal/10min로 나타났고, 열교환기로부터의 최대열회수량은 11,550~1,064kcal/10min로 나타나 전체 시간이 경과함에 따라 회수열량이 감소한 것은 발효열량이 감소했기 때문인 것으로 판단되었다.

#### 3.3 외부온도변화에 따른 열회수 효율

그림 4에서 나타난 바와 같이 열교환기 입.출구 온도, 발효온도 및 외기온도와와의 차이를 변수로 한 열회수효율의 변화현상에서 확실히 알 수 있는데 그 발효온도가 크지 않을 때는 효율이 낮아지는데 이는 열회수 가능량이 줄어들게 되고 실제 회수량도 아주 적어지게 된다. 회수효율의 관계식(3)을 이용하여 계산하였다. 시간변화에 따른 열회수 효율은 대개 81~61%범위에 분포함을 알 수 있었다.

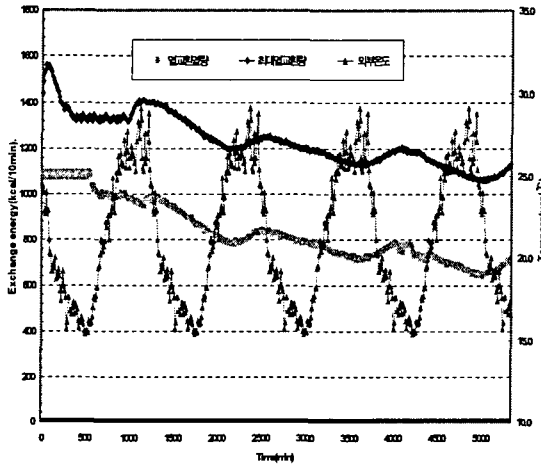


Fig. 3 Exchanged energy quantity depending on outside air temperature

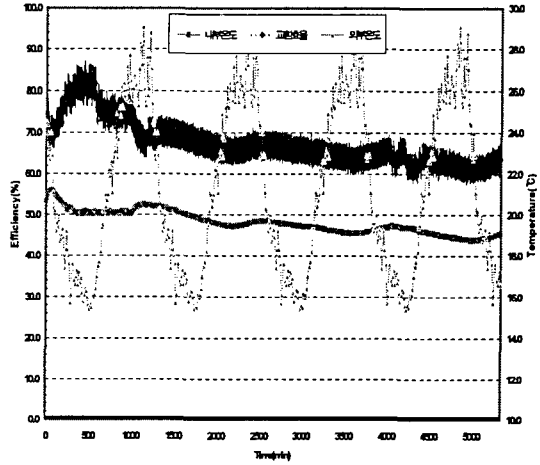


Fig. 4 Efficiency variation depending on outside air temperature

#### 4. 결론

본 연구의 목적은 채소쓰레기의 발효시 발생하는 발효열을 회수하여 재이용하는 시스템으로 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다

- 가. 발효 내부의 온도는 4일간 경과 후 약 61~50°C로 일반적으로 비교적 소폭변화를 보였고, 발효사의 내부온도는 55~45°C, 냉각수의 입구온도는 17°C, 출구온도는 44~35°C, 또한 외부온도는 주간 28°C 야간 14°C로 일정한 주기를 나타내었다.
- 나. 발효사으로부터의 열회수량은 1,090~648kcal/10min로 나타났고, 열교환기로부터의 최대 열회수량은 11,550~1,064kcal/10min로 나타나 전체 시간이 경과함에 따라 회수열량이 감소한 것은 발효열량이 감소했기 때문인 것으로 판단되었다.
- 다. 시간변화에 따른 열회수 효율은 대개 81~61%범위에 분포함을 알 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

1. 강금춘, 김영중, 유영선, 백 이, 이진중. 히트파이프를 이용한 온풍난방기 배기열회수 시스템의 열회수 특성. 농업기계학회지. 26(5). (2001)
2. 김영중, 유영선, 장진택, 강금춘, 이진중, 신정웅. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중 난방용 온수공급시스템의 열회수특성. 농업기계학회지. 25(3). (2000)
3. 박정래. 1992. 배가스의 폐열회수를 위한 직접접촉 열교환기에서의 열전달 현상연구. 석사 학위논문. 중앙대학교.
4. 서상룡, 유수남. 농용 내연기관 폐열의 열에너지 회수. 농업기계학회지 12(1). (1987)