

온풍난방기 열효율조사 연구

An Investigation on the Heat Efficiency of Hot Air Heater

김영중* 유영선 강금춘* 백이* 윤진하*
 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
 Y.J. Kim Y.S. Ryou K.C. Kang Y. Baek J.H. Yun

1. 서론

우리나라의 시설재배는 1990년 이후 많은 발전을 거듭하여 1999년말 현재 시설면적은 53,139ha로 '90년에 비하여 2배 가까이 늘어났으며 그와 더불어 가온재배 면적도 약 22%에 달하여 겨울철에도 고품질의 신선농산물을 생산·공급할 수 있게 되었다. 겨울철에 작물을 생산하기 위해서는 작물이 생육하기에 적합한 온도로 난방을 하여야 하는데 우리나라에서는 거의 대부분 석유를 연소시켜 열에너지를 얻는 온풍난방기와 온수보일러를 사용하고 있다.

이에 따라 시설원예의 주 난방수단인 온풍난방기의 보급도 급속히 증가하여 '99년말 현재 약 114천대로 '92년에 비하여 약 8.3배가 증가하였으며, 1년간 온실의 난방에 소요되는 유류 소모량은 1,670천kl로 농업용 면세유공급량의 약 68%를 차지하는 것으로 추산되고 있다 (표 1).

Table 1. Heating area and heating means of Greenhouse

yrs	Heating area(ha)	portion (%)	Area portion by heating means (%)				
			light fuel	Coal briquette	kerosene heater	saw dust and rice husk	others
'92	2,794	9.6	66.9	15.3	11.2	1.6	4.9
'93	4,538	13.6	85.8	5.9	5.7	0.4	2.1
'94	6,194	16.4	81.5	3.1	10.7	0.2	4.5
'95	6,858	17.1	90.6	1.0	4.6	0.1	3.8
'96	8,007	18.8	94.6	0.6	1.7	0.3	2.7
'97	9,816	22.3	95.1	0.3	0.5	-	3.8
'98	9,290	20.5	92.8	0.8	1.3	0.1	5.0
'99	9,675	20.2	93.7	0.7	1.2	0.1	4.3

온풍난방기는 경유 또는 중유를 연료로 사용하고 있으며 경유용 온풍난방기가 거의 대부분을 차지하고 있다. 형식은 덕트 접속식으로 열교환 통로는 2~3패스로 되어 있고 건타입의 버너를 장착하고 있으며, 보통 1~2개의 온풍토출구를 가지고 있고 자동 또는 수동식의 온도조절장치를 구비하고 있다. 주요 온풍난방기의 규격은 표 2 (윤진하, 1998)에 수록되

* 농업기계화연구소

어 있는 바와 같이 열효율은 80~90%로 비교적 높은 편이고 배기가스온도는 180℃에서 320℃ 정도에 걸쳐 있으며, 온풍온도 또한 48℃ ~ 86℃ 범위로 많은 변이를 보이고 있다.

Table 2. Major specifications of the hot air heaters

capacity (1000kcal/h)	fuel con. rate (ℓ/h)	exhaust gas(℃)	warm air (℃)	air volume (m ³ /min)	electricity (kW)	heat effici. (%)	noise (db)
20~80	3.4~11.2	188~294	48~78	32~127	0.5~2.2	86~90	77~85
80~140	12.5~18.8	213~310	57~86	98~212	1.7~3.7	82~90	80~89
140~200	20.2~26.6	264~316	61~78	124~321	2.7~6.7	86~89	84~92
200~350	32.3~42.6	260~323	70~81	295~516	7.4~12.0	85~90	89~90

온풍난방기의 열효율측정방법은 현재 열손실법으로 규정되어 있지만 실제적으로는 연소효율을 가르키므로 정확한 온풍난방기 열효율이라고 말하기 어렵다. 연소가 완전연소가 될수록 단위시간당 연소열이 많고 불완전연소일수록 연소열이 작다. 완전연소와 불완전연소의 기준은 보통 배기가스중 탄산가스(CO₂)의 농도로 나타내며, 경유의 경우 최대탄산가스농도는 공기비 1일 때 15~16%로 알려져 있다(국립공업기술원, 1995). 그러나, 연소상태에 영향을 미치는 인자 즉 노즐, 버너송풍량, 확산판 등의 사용상태, 사용연한 등에 따라 열효율이 변할 수 있다. 본 연구의 목적은 온풍난방기의 열효율 향상기술을 개발하기 위하여 현재 사용중인 온풍난방기의 열효율과 열효율에 미치는 관련인자 등을 조사분석하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 열효율과 연소효율

열효율에 대한 정확한 정의는 열이용기에 공급된 열량 Q_{fuel} 와 유효하게 이용된 열량 Q_{eff} 와의 비율을 열효율(η)이라고 한다.

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_f} \times 100(\%) \text{----- (1)}$$

연소효율(η_c)은 연료의 발열량 중 실제로 연소열량에 변화된 비율을 말하며 다음 식으로 표시된다.

$$\eta_c = \frac{Q_r}{H_u} = \frac{H_u - (L_c + L_\infty)}{H_u} \times 100(\%) \text{----- (2)}$$

식 (2)에서 Q_r 은 연소열, H_u 는 연료의 발열량, L_c 는 미연소탄소에 의한 손실, L_∞ 는 불완전 연소손실을 나타낸다.

배기가스분석기에 표시되는 연소효율은 연소공기온도, 연료의 배기가스온도 및 배기가스중의 CO₂ 농도로 계산되는 값으로 연소기기의 엄밀한 열효율이라고 말하기 어렵다. 그러나, 관행적으로 배기가스분석기에 표시되는 연소효율을 일반적으로 열효율로 통용되고 있는

실정이나 보다 명확한 연소기기의 효율 정의를 위해서는 열효율에 대한 명확한 이해가 필요하다. 어쨌든, 앞으로 본 연구에서 말하는 열효율이란 일반적으로 말하는 열효율 즉 연소효율을 가르킨다.

나. 조사대상

온풍난방기의 열효율 조사에서 조사대상은 경유온풍난방기로 한정하였으며, 용량은 20만 kcal/h 이하로 하고 사용연수는 10년 이하인 온풍난방기로 정하였다. 조사대수는 사용중인 경유온풍난방기 20대로 하였으며, 기종 및 용량선정은 특별한 기준 없이 무작위로 선정하였다.

다. 열효율 측정방법

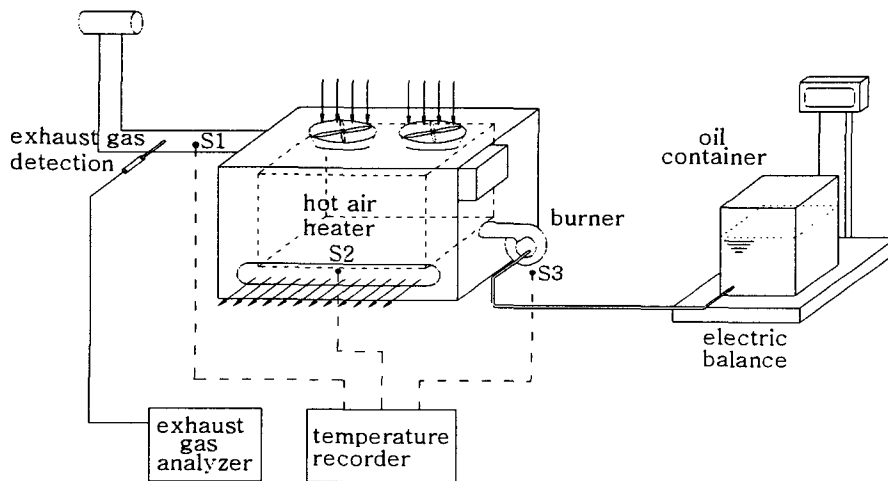


Figure 1. Heat efficiency measurement system adopted in this investigation

열효율 측정방법은 그림 1과 같이 배기가스분석기(Greenline Mk2, eurotran)를 사용하여 탄산가스농도, 배기가스온도, 열효율을 측정하고 전자저울로는 온풍난방기의 시간당 연료소비량을 측정하였다. 버너송풍기 흡입온도와 온실로 유입되는 온풍온도는 T타입 서모커플로 하이브리드온도기록계로 이용하여 측정하였다. 측정은 온풍난방기를 가동시킨 후 충분한 시간을 두고 각 측정사항이 평형상태에 도달하는 시점에서 측정값을 취하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 사용연수별 배기가스중 탄산가스농도

그림 2는 온풍난방기 사용연수에 따른 배기가스중의 탄산가스농도를 나타낸 그림으로 각 점은 한 대의 온풍난방기를 표시한다.

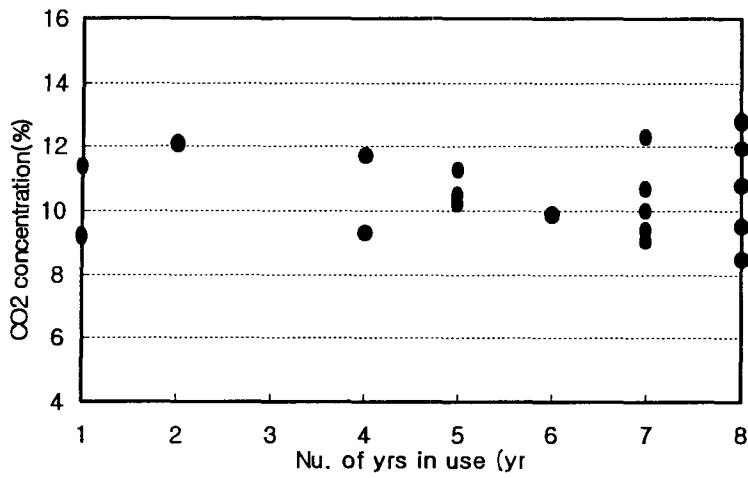


Figure 2. CO₂ concentration in the exhaust gas of the different hot air heaters

사용연수에 따른 측정대수의 차이로 전체적 경향을 말하기는 어렵지만 개략적으로 보면 사용연수가 오래될수록 탄산가스농도의 변이는 크다고 말할 수 있다. 사용연수가 8년된 온풍난방기의 경우 탄산가스농도는 8.5%에서 13% 대에 걸쳐 있었다.

나. 사용연수별 온풍온도차

사용연소별 온풍온도차는 온풍난방기 송풍기로 유입하는 공기온도와 온풍구로 나오는 온풍온도와의 차를 가르치는 항으로 열교환기의 성능, 송풍공기량의 적정여부 등을 나타낸다고 볼 수 있다. 즉 열교환기나 송풍공기량이 적정하면 온풍온도차가 적정한 값으로 나올 수 있지만 그렇지 않다면 온도차가 너무 낮거나 높을 수 있다.

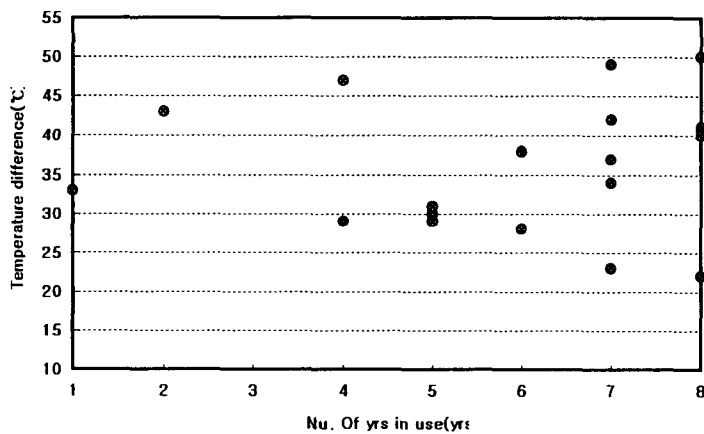


Figure 3. Temperature difference between house air and warm air of the different hot air heaters

8년 경과한 온풍난방기의 경우 온풍온도차는 최고 50℃ 이상으로 나타났고, 최저 22℃로 관측되었다.

다. 사용연수별 배기가스온도

그림 4는 조사한 온풍난방기의 배기가스온도를 나타낸 것으로 사용연수가 증가할수록 배기가스온도가 높아졌다고 볼 수 있다.

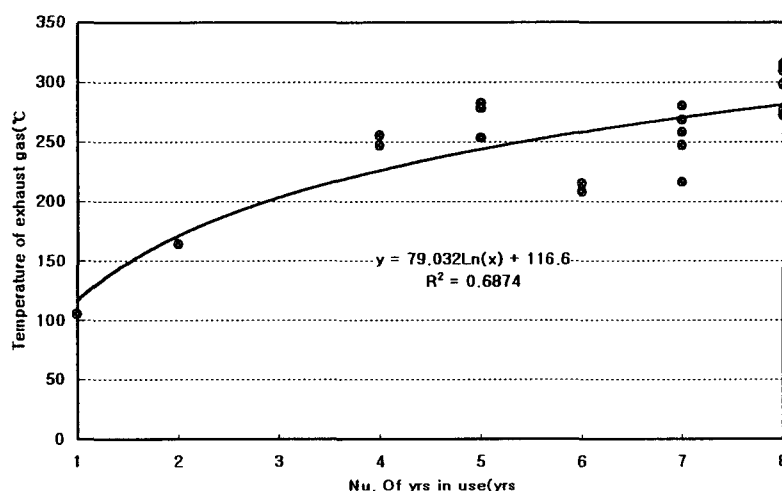


Figure 4. Temperature of exhaust gas of the different hot air heaters

사용연한이 1년인 온풍난방기의 배기가스온도는 100℃가 조금 넘는 반면에 사용연한이 증가할수록 배기가스온도는 증가되어 8년된 온풍난방기의 배기가스온도는 300℃가 넘게 나왔다. 이는 사용연한이 증가할수록 열교환기의 성능이 떨어져 열교환이 충분히 이루어지지 않았다고 볼 수 있다. 열교환기의 성능이 불량해 졌다는 것은 여러 요인이 있을 수 있지만 제일 큰 요인은 버너노즐 노후화로 인한 연료공급불량 또는 버너송풍기의 성능저하로 인한 송풍량변화, 온풍난방기 송풍팬의 노후화에 의한 공기량변화 등으로 인하여 열교환이 원활하게 이루어지지 않았다고 볼 수 있다.

라. 온풍난방기 열효율

본 시험에서 말하는 열효율은 정확하게 배기가스분석기에서의 배기가스중의 탄산가스농도를 최대탄산가스농도와 비교하여 표시하는 연소효율이라고 볼 수 있으며 따라서 온풍난방기의 전체적 열효율을 말하고 있다고 보기는 어려울 것이다. 그림 5는 온풍난방기의 열효율을 나타낸 그림으로 최고열효율은 사용연수 1년에서 95%로 나타났고, 사용연수가 증가할수록 열효율이 감소하는 추세였으며, 사용연수 8년인 온풍난방기의 열효율은 80%에서 88% 사이에 있었다. 이런 추세를 회귀방정식으로 표시하면 $Y = 95.167 X^{-0.054}$ ($R^2 = 0.5696$)로 나타낼 수 있다.

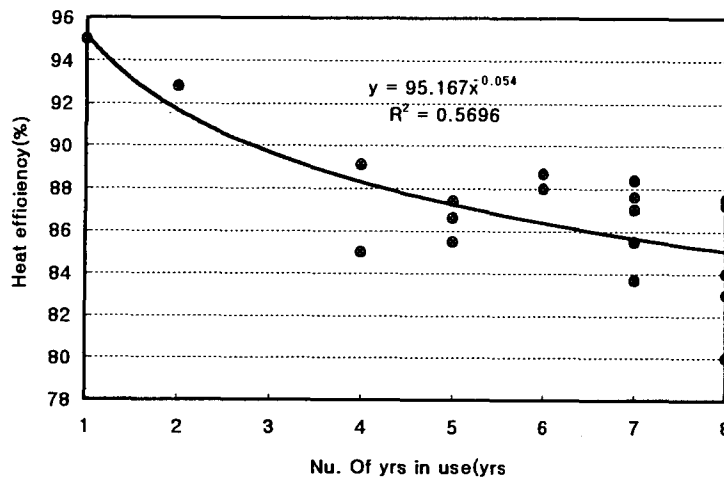


Figure 5. Heat efficiency of the different hot air heaters

4. 요약 및 결론

온풍난방기 20대를 대상으로 온풍난방기의 배기가스중 탄산가스농도, 온풍온도차, 배기가스온도 및 열효율을 조사하여 사용연수별로 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

- 가. 사용연수별 온풍난방기 배기가스중 탄산가스농도와 온풍온도차는 사용연수에 따른 조사표본의 부족으로 큰 차이가 있었다고 하기는 어렵고 정확한 조사를 위해서는 보다 많은 대수가 필요할 것으로 판단된다.
- 나. 사용연수별 배기가스온도는 사용연한이 오래될수록 높아졌다고 판단된다. 이는 열교환기에서 흡입공기와 연소열이 열교환이 충분히 이루어지지 않았거나, 버너노즐의 노후화, 버너송풍기, 온풍난방기 송풍기의 노후화에 따른 결과라 여겨진다. 사용연수에 따른 배기가스온도는 회귀방정식 $Y = 79.032\text{Ln}(X) + 116.66$ ($R^2 = 0.6784$)로 나타낼 수 있었다.
- 다. 사용연수별 온풍난방기의 열효율은 사용연한이 오래될수록 감소하는 경향을 보였으며 회귀방정식 $Y = 95.167 X^{-0.054}$ ($R^2 = 0.5696$)로 나타낼 수 있었다.

5. 참고문헌

- 가. 국립공업기술원 1995. 연소기기관련 기술세미나 교재. pp. 19
- 나. 김영중, 유영선, 장진택, 윤진하, 연태용. 1999. 온풍난방기용 건타입 중유버너의 분사특성과 연소특성. 한국농업기계학회지 제 24권 2호 pp. 107-114.
- 다. 농촌진흥청. 2001. 시설에너지 절감기술. 표준영농교본 pp. 39-45
- 다. 윤진하. 시설원에에너지 기술현황 및 발전방향. 1998. 시설원에 생산비용 절감기술 심포지움 자료집. 한국시설원에연구회. pp. 27~50.
- 마. 이규성, 오인교, 강영식, 최석규, 황상용, 최태열, 1998. 연소공학. 형설출판사. pp. 64-74