

온풍난방기 열효율 분석에 관한 연구

An Analysis on the Heat Efficiency of Hot Air Heater

백이*	김영중*	유영선	강금춘*	강연구*	강창호*
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원	정희원
Y. Paek	Y.J. Kim	Y.S. Ryou	K.C. Kang	Y.K. Kang	C.H. Kang

1. 서론

우리나라의 시설채소재배는 주로 겨울철 작물을 재배하기 위해서는 작물이 생육하기에 적합한 온도로 난방을 하여야 하는데 거의 대부분 석유를 연소시켜 열에너지를 얻는 온풍난방기와 온수보일러를 사용하고 있다.

이에 따라 시설원예의 주 난방수단인 온풍난방기의 보급도 급속히 증가하여 '05년말 현재 약 130천대로 '95년에 비하여 약 8배가 증가한 것으로 추산되고 있다. 온풍난방기는 경유 또는 중유를 연료로 사용하고 있으며 경유용 온풍난방기가 거의 대부분을 차지하고 있다. 형식은 간접가열방식으로 덕트 접속식 열교환 통로는 3~5패스로 되어 있고 건타입의 버너를 장착하고 있으며, 보통 1~2개의 온풍토출구를 가지고 있고 자동 또는 수동식의 온도조절장치를 구비하고 있다. 주요 온풍난방기의 규격(윤진하, 1998)에 수록되어 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.

온풍난방기의 열효율측정방법(김영중 외, 2001)은 현재 열손실법으로 연소가 완전연소가 될 수록 단위시간당 연소열이 많고 불완전연소일수록 연소열이 작다. 완전연소와 불완전연소의 기준은 보통 배기가스 중 탄산가스(CO₂)의 농도로 나타내며, 경유의 경우 최대탄산가스농도는 공기비 1일 때 15~16%로 알려져 있다(국립공업기술원, 1995). 본 연구의 목적은 현재 보급 이용하고 있는 온풍난방기의 성능을 분석하여 향후 열효율 향상기술을 개발하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 이론분석

열효율에 대한 정확한 정의는 열이용기에 공급된 열량 Q_{kcal} 와 유효하게 이용된 열량 $Q_{e,kcal}$ 와의 비율을 열효율(η)이라고 한다.

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

* 농업공학연구소

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

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

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

배기가스분석기에 표시되는 연소효율은 연소공기온도, 연료의 배기가스온도 및 배기가스중의 CO_2 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. 실제 온풍으로 이용한 난방능력의 분석방법은 공기엔탈피법에 의한 다음 식에 의거하여 산출한다.

$$Q_a = \rho_a \times A_d \times V_d \times C_p \times (T_o - T_i) \text{-----}(3)$$

식 (3)에서, ρ_a 는 공기의 밀도(kg/m^3), A_d 는 토출단면적(m^2), V_d 는 평균풍속(m/s), C_p 는 공기의 정압비열($kcal/kg^\circ C$), T_o 는 토출공기 평균온도($^\circ C$), T_i 는 흡입공기 평균온도($^\circ C$)를 나타낸다.

나. 실험방법

온풍난방기의 열효율 분석에서 조사대상은 경유온풍난방기로 한정하였으며, 용량은 4만 $kcal/h$ 로 하고 실험은 농업공학연구소 실험동에서 2005년 3월~2005년 8월까지 수행하였다. 열효율 측정방법은 그림 1과 같이 배기가스분석기(Greenline Mk2)를 사용하여 배기가스온도, 열효율을 측정하고 전자저울로는 시간당 연료소비량을 측정하였으며 또한, 에너지소비효율 측정은 공기엔탈피법에 의하여 실제 온풍으로 변환 열량을 계측하여 분석하였다.

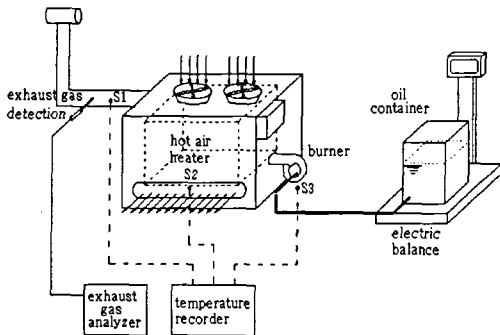


그림 1. 열효율 분석을 위한 계측시스템

Table 1. 열효율 계측장치 사양

구분		형식 및 제원
열량계	형식	Bomb calorimeter (IKA C5000)
	측정범위	6,000~32,000J
배기가스 분석기	형식	Green Line MK2
	용도	CO, CO ₂ , NO, NO _x
온도계	형식	PT100
	측정범위	-200~800℃
풍속계	형식	Micromanometer (Air flow MEDM5K)
	측정범위	0~30m/s

버너송풍기 흡입온도와 온실로 유입되는 온풍온도는 T타입 서모커플로 하이브리드온도기록 계로 이용하여 측정하였다. 측정은 온풍난방기를 가동시킨 후 충분한 시간을 두고 각 측정사항이 평형상태에 도달하는 시점에서 측정값을 취하였다. 표 2는 열효율을 측정하기 위한 장치로서 열량계, 배기가스분석기, 온도계, 풍속계로 구성이 되어있으며 그 사양 및 제원은 다음과 같다.

3. 결과 및 고찰

가. 효율분석을 위한 연료의 발열량 분석

표 1는 온풍난방기의 열효율을 분석하기 위하여 봄베열량계(IKA C5000)로 연료의 발열량을 분석해 본 결과 다음과 같이 나타났다. 현재 경유의 표준발열량은 10,000Kcal/kg을 사용하고 있으며, 측정한 회사별 경유의 연료발열량은 A사 10,611Kcal/kg, B사10,713Kcal/kg, C사 9,775Kcal/kg, D사 10,802Kcal/kg, E사 10,691Kcal/kg 나타났으며 회사별 경유의 발열량은 9,775 ~ 10,802Kcal/kg로 큰 차이의 범위를 나타내고 있다.

Table 2. 회사별 경유의 발열량

구분	발열량(Kcal/kg)	비고
경유(표준)	10,000	표준값 (석유회사)
경유(A)	10,611	측정값
경유(B)	10,713	측정값
경유(C)	9,775	측정값
경유(D)	10,802	측정값
경유(E)	10,691	측정값
경유(F)	10,770	측정값
경유(G)	10,667	측정값

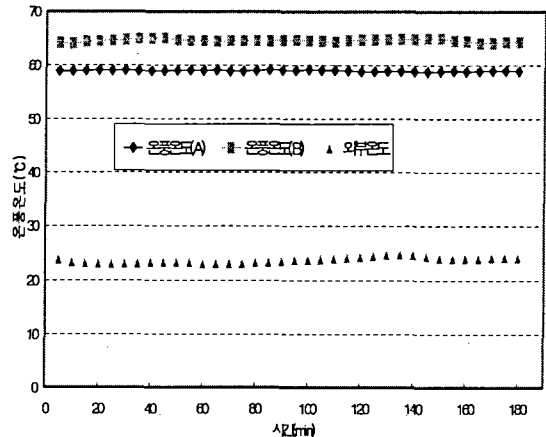


그림 2. 사용시간에 따른 온풍온도

나. 사용시간에 따른 온풍온도

본 실험에 사용한 온풍난방기는 용량이 4만kcal/h로 사용시간에 따른 온풍온도차는 온풍난방기 송풍기로 유입하는 외부공기온도와 열교환기를 통해 간접열교환 후 온풍덕트 출구 두곳으로 나오는 온풍출구온도를 측정한 결과 그림 2과 같이 나타났다. 즉 열교환기가 적절하게 설계되었거나 송풍공기량이 적절하면 온풍온도차가 적정한 값으로 나올 수 있지만 그렇지 않다면 온도차가 너무 낮거나 높을 수 있다. 온풍출구(A)의 온도는 3시간 연속 가동하는 동안 65℃를 유지하였으며 온풍출구(B)의 온도는 58℃를 유지하였다. 온풍출구 좌우의 온도차는 7℃정도의 차이를 보였으나 각각 출구온도의 편차는 보이지 않아 본 실험의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

다. 사용시간에 따른 온풍덕트의 풍량 변화

온풍난방기의 풍량계측은 풍속의 안정화를 위해 온풍토출구로부터 4m떨어진 곳에 풍량계를 설치하고 좌우 각각 풍속센서를 18점을 설치한 후 풍량은 평균을 취하였다. 그림 3는 조사한 온풍난방기의 온풍덕트 출구의 풍량을 나타낸 것으로 가동시간이 경과 함에도 풍량의 변화가 없음을 알 수 있었다.

온풍난방기의 온풍출구(A)의 풍량은 1.01~1.05m³/s로 나타났고, 온풍출구(B)의 풍량은 1.0~1.05m³/s로 나타났고, 온풍출구 A와 B는 큰차이가 없이 균일함을 알 수 있었다.

라. 온풍난방기의 연소효율과 에너지 소비효율

그림 4은 온풍난방기의 연소효율과 에너지 소비효율을 나타낸 그림으로 나타낼 수 있다. 효율 계산은 식(1),(2), (3)을 활용하여 산정하였다. 온풍난방기의 배기손실에 의한 연소효율은 86.6%, 온풍덕트의 공기엔탈피법에 의한 열이용효율은 77.48%로 나타났으며, 연소효율에 비해 열이용효율이 약9%낮게 나타났다. 이는 온풍난방기의 열관류손실이 있으며 향후 에너지소비효율 등급화를 하는데 실제 열이용 효율을 가지고 판단해야 할것으로 사료된다.

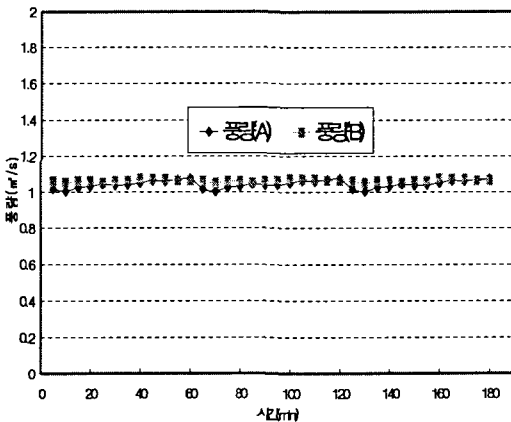


그림 3. 사용시간에 따른 온풍덕트의 풍량 변화

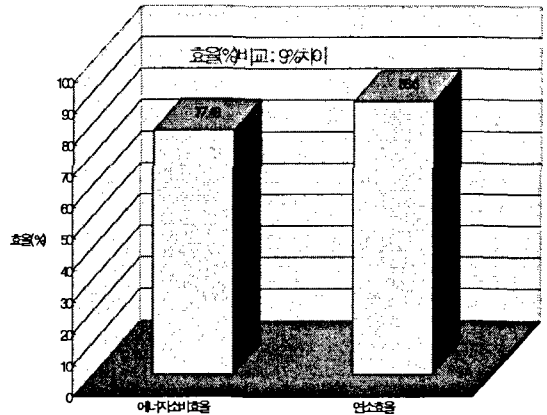


그림 4. 온풍난방기의 연소효율과 에너지 소비효율

4. 요약 및 결론

온풍난방기 용량 4만Kcal/h를 대상으로 온풍난방기의 온풍온도, 풍량 및 연소효율 및 에너지 소비효율을 조사하여 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

가. 측정된 회사별 경유의 연료발열량은 A사 10,611Kcal/kg, B사10,713Kcal/kg, C사 9,775Kcal/kg, D사 10,802Kcal/kg, E사 10,691Kcal/kg 나타났으며 회사별 경유의 발열량은 9,775 ~ 10,802Kcal/kg로 큰 차이의 범위를 나타내고 있다.

- 나. 온풍출구(A)의 온도는 3시간 연속 가동하는 동안 65℃를 유지하였으며 온풍출구(B)의 온도는 58℃를 유지하였다. 온풍출구 좌우의 온도차는 7℃정도의 차이를 보였으나 각각 출구 온도의 편차는 보이지 않았으며, 온풍난방기의 온풍출구(A)의 풍량은 1.01~1.05m³/s로 나타났고, 온풍출구(B)의 풍량은 1.0~1.05m³/s로 나타났고, 온풍출구 A와 B는 큰차이가 없이 균일함을 알 수 있었다. 본 실험의 신뢰성을 확보할 수 있었다.
- 다. 온풍난방기의 배기손실에 의한 연소효율은 86.6%, 온풍덕트의 공기엔탈피법에 의한 열이용효율은 77.48%로 나타났으며, 연소효율에 비해 열이용효율이 약9%낮게 나타났다. 이는 온풍난방기의 열관류손실이 있으며 향후 에너지소비효율 등급화를 하는데 실제 열이용 효율을 가지고 판단해야 할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- 가. 국립공업기술원 1995. 연소기기관련 기술세미나 교재. pp. 19
- 나. 김영중. 온풍난방기 열이용효율에 관한 연구. 2001 농업기계화 시험연구보고서. 농업기계화연구소.
- 다. 윤진하. 시설원예에너지 기술현황 및 발전방향. 1998. 시설원예 생산비용 절감기술 심포지움 자료집. 한국시설원예연구회. pp. 27~50.