온풍난방기의 열이용효율 증대를 위한 열교환부 및 송풍기 구조개선

Mechanism improvement of the heat exchanger and the ventilator for the thermal efficiency increment of hot-air heater

이기명* 박규식** 최성우*
정회원 정회원
K. M. Lee K. S. Park S. W. Choi

1. 서론

우리나라의 시설원예 농산물 가운데 난방장치를 사용하는 겨울철 재배 농산물의 생산비 중 난방비가 30~37% 정도를 차지하여 그 비중이 가장 높다. 이는 일본의 20%보다 1.5배, 이스라엘의 10%보다 3배 이상의 비중을 차지하는 수치이다. 따라서 시설원예 농가에서는 난방비를 절감하는 것이 농가소득과 직결되므로, 난방장치의 선정이 대단히 중요하다.

본 연구에서는 기존의 온풍난방기와 다른 새로운 방식의 열교환기와 원심식 송풍블로워를 사용하는 블로워 송풍방식의 온풍난방기를 개발하고 개발된 온풍난방기의 가동으로 인한 난방 연료비의 절감과 온실내의 균일한 온도분포를 획득하는 데 그 목적이 있다.

이러한 추세에 따라 난방장치 제조업체에서는 폐목이나 폐타이어, 석탄 등 저비용의 연료를 사용하는 온풍기의 개발 시도가 많아지고 있고 시설재배 농가에서도 온실내 수평 또는 연직 순환팬을 사용하여 온실내 온도편차를 줄이는 등 에너지비용을 절감하기 위한 시도가 다양하다.

2. 재료 및 방법

가. 시험장치

1) 기존 온풍난방기

시험에 사용된 기존 온풍난방기는 국내에 보급되고 있는 대부분의 온풍난방기 중 한 종류로써 3 pass방식의 열교환기와 2개의 송풍팬를 장착한 온풍난방기이다. 일반적으로 300평당 1대 설치되는 온풍기는 기체 양측 하단으로 온풍이 배풍되고, 직경 1m의 메인 덕트와 직경 20cm의 분기 덕트로 작물의 이랑을 따라 배치하여 온풍 배출공을 통해 확산된다.

2) 블로워 송풍방식 온풍난방기

본 연구에서 개발한 블로워 송풍방식 온풍난방기는 기존온풍기와 같은 용량의 버너를 사용하였으며 열교환기와 송풍기를 새로운 구조로 개선한 것이며, 개선된 열교환기로 인한 송풍저항을 극복하고 배풍하기 위하여 원심식 송풍블로워를 도입하였다. 그림 1은 개발된 블로워 송풍방식 온풍난방기와 그 열교환기를 나타내고 있다.

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과
** 구미1대학

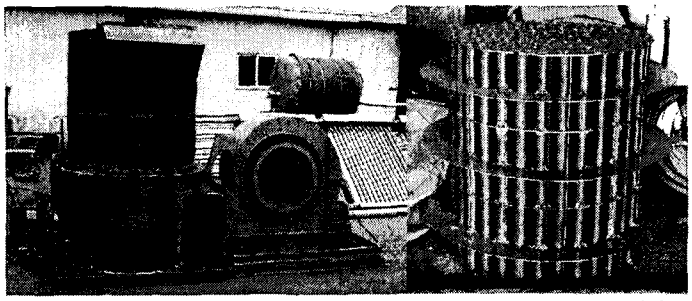

Fig 1. Developed hot-air heater with blower ventilative type and heat exchanger

3) 유량계측장치 및 온도계측장치

공시 온풍난방기의 사용 연료량을 계측하기 경유유량계를 수평 설치하여 사용하였다. 온실내의 온도분포를 계측하기 사용된 다점온도측정기와 온도센서는 20채널 동시 계측 가능한 Portable Hybrid Recorder (DR130, YOKOGAWA)를 사용하였고, 온도센서는 T-type 열전대를 사용하였다. 온도센서의 정밀도는 0.05%이며, 다점온도측정기의 계측간격은 10분으로 자동 기록되도록 하였다.

4) 공시온실과 온도센서 설치

온실내 온도분포 계측시험은 전북 완주군 봉동에 위치한 8연동 비닐온실로 폭 5m, 길이 110m 6개 동과, 50m 2개 동으로 면적은 1200평이었다. 시험당시 재배 작물은 포도였으며, 포도의 생육 스테이지는 개화기이었다. 온실내의 온도센서의 설치 위치는 그림 2와 같으며, 외부 온도는 ch 1, 2 총 2개소, 8개동의 온실 중 가운데 6개동의 작물 개화 위치에 ch 3, 4, 5, 6, 7, 8 총 6개의 온도센서를 설치하였다.

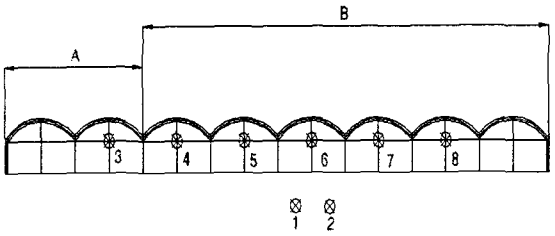

Fig 2. Setting position of temperature sensor in declared greenhouse (A:length 50m, B:length 110m)

나. 시험방법

1) 기초시험

온풍난방기는 연소실과 열교환기를 통해 연소가스로부터 가열된 온풍을 온실내에 배풍하기 위한 장치이다. 이러한 온풍난방기의 난방능력은 아래 식에 의거하여 산출된다.

$$Q = r \times A \times V \times C_p \times (t_2 - t_1) \times 3600 \quad (kcal/hr)$$

여기서, Q : 난방능력 (kcal/hr)

r : 공기비중량 (1.2kg/㎥)

A : 토출면적 (㎡)

V : 평균 풍속 (m/sec)

C_p : 정압비열 (0.24 kcal/kg℃)

t_2 : 토출공기 평균온도 (℃)

t_1 : 실내 평균온도 (℃)

위 식에서 변수에 해당하는 토출공기 평균온도 및 실내 평균온도와 토출면적과 평균 풍속을 측정하여 온풍난방기의 난방능력을 산출하기 위한 두가지 기초시험을 행하였다.

(1) 온풍온도 측정시험

온풍온도 측정은 온풍난방기가 작동되어 운전이 안정된 후 온풍토출구로부터 5m 떨어진 지점에서 측정하였다. 온도의 측정은 T-type 열전대 온도센서를 사용하여 다점온도측정기로 실시간 측정하였으며, 계측시간은 30분 동안 1분 간격으로 자동 기록하였다.

(2) 송풍기 송풍성능시험

기존 온풍난방기에 사용되는 축류식의 전동기 축직결식 송풍팬과 블로워 송풍방식 온풍난방기에 사용되는 원심식의 모터벨트구동식 송풍기의 송풍성능시험은 기존의 성능시험(국립농업자재검사소)을 참고하여 예측하였다.

2) 난방 Degree hour에 의한 연료 사용량 비교

온풍난방기의 유량을 계측하기 위해 경유유량계를 사용하여 유량을 측정한 후 난방 Degree hour(DH)를 아래 식과 같이 산출하여 DH당 연료 사용량을 비교하여 난방연료의 절감율을 분석하였다.

DH = Σ(온실 내 시간당 온도 평균 - 시간당 외기온도 평균)

3) 온실내 온도분포 계측 및 분석

작물을 재배하는 공시온실에서 기존 온풍난방기 3대를 그림 3과 같이 배치하여 2일 동안 시험하였고, 블로워 송풍방식 온풍난방기 1대를 그림 4와 같이 배치하여 3일 동안 시험하여 각 계측점의 온도 분포 및 변화를 상호 비교, 분석하였다.

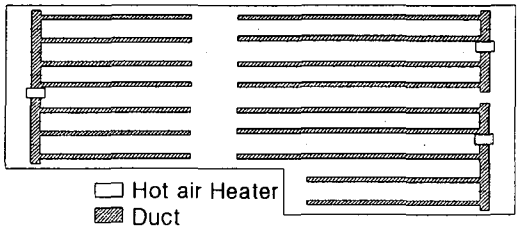

Fig 3. Arrangement plan of existing hot-air heater in declared greenhouse

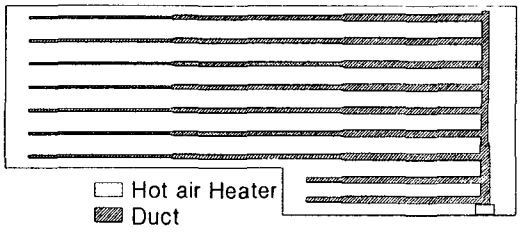

Fig 4. Arrangement plan of hot-air heater with blower ventilative type in declared greenhouse

3. 결과 및 고찰

가. 블로워 송풍방식의 고효율 온풍난방기 개발

1) 기초시험 결과

(1) 온풍온도 측정시험 결과

온풍온도 측정은 온풍난방기가 작동되어 운전이 안정된 후 온풍토출구로부터 5m 떨어진 지점에서 측정하였다. 측정은 30분 동안 실시하여 다점온도측정기와 온도센서를 사용하여 1분 간격으

로 자동 기록하였다.

그 결과 기존 온풍난방기의 경우 최대온도 49.1℃, 평균온도 47.5℃인데 비해 블로워 송풍방식 온풍난방기는 최대온도 82.2℃, 평균온도 81.7℃로 나타나 블로워 송풍방식 온풍난방기가 기존 온풍난방기보다 73% 상승된 온풍온도를 얻을 수 있었다.

그리고, 온풍온도 측정시험에서 기존 온풍난방기의 연료소비량은 19.89ℓ/hr이었고, 블로워 송풍방식 온풍난방기의 연료소비량은 39.20ℓ/hr이었다.

(2) 송풍기 송풍성능시험 결과

기존 온풍난방기에 사용되는 전동기 축직결식 송풍팬는 대기압 748.2㎜Hg, 온도 21.8℃에서 풍량이 106.7㎥/min, 전압이 25.7㎜Aq, 최고정압효율이 36.2%인데 비해, 블로워 송풍방식 온풍난방기에 사용되는 모터벨트구동식 송풍기는 대기압 747.1㎜Hg, 온도 28.0℃에서 풍량이 206.7㎥/min, 전압이 127.5㎜Aq, 최고정압효율이 63.4%로 나타나 원심식의 모터벨트구동식 송풍기가 기존의 축류식의 전동기 축직결식 송풍팬보다 풍량면에서는 93%, 전압면에서는 396% 우수한 성능을 보였다.

(3) 이론 연료 절감율

기존 온풍난방기 3대를 가동하는 온실의 경우 이론 연료소비율은 59.67ℓ/hr인데 비해 블로워 송풍방식 온풍난방기를 설치, 가동하는 경우 이론 연료소비율은 39.20ℓ/hr로써 이론적으로 약 35%의 연료 절감이 예상되었다.

2) 기존 온풍난방기

국내에 보급되고 있는 대부분의 온풍난방기는 난방기의 전면 하부에 설치된 버너의 화염이 스테인레스 강판제 연소실에서 연소되어 스테인레스 파이프 열교환기를 거쳐서 열을 방열하고 연돌을 통해 온실 밖으로 배출된다. 그리고 신속한 열교환과 온실에 균일한 배풍을 위하여 온풍기 용량에 따라 한 개 또는 두 개의 송풍팬을 사용하고 있다. 즉, 온풍난방기의 흡입구에 전동기 축직결식 송풍팬을 설치하여 온실내 공기를 압송하여 온풍난방기 내에 설치된 열교환기와 연소실을 통하여 연소가스로부터 열을 받아 온실내에 배치한 덕트를 통하여 배풍한다. 본 시험에서는 개발 온풍난방기와 성능을 대비하기 위하여 기존 온풍난방기 3대를 사용하여 시험하였다.

3) 블로워 송풍방식 온풍난방기

블로워 송풍방식 온풍난방기는 기존온풍기와 같은 용량의 버너를 사용하였으며 열교환기와 송풍기를 새로운 구조로 개선한 것이다. 즉, 열교환기의 면적을 증가시켜 열교환 효율을 높이도록 하였으며, 이때 열교환이 원활히 이루어지도록 열교환기 내에 공기가 지그재그로 통과하는 환류가 일어나도록 구성하였다. 이때 발생하는 송풍저항을 극복하고 배풍하기 위하여 원심식의 모터벨트구동식 송풍기를 도입한 것이다. 온풍난방기로부터 온풍토출구는 상단 측면에 설치되고 메인 덕트는 온실내에서 온풍난방기로부터 멀어지면서 축소관을 거쳐 직경이 작은 덕트로 연결되고 일정거리마다 축소관과 직경이 작은 덕트를 사용하여 온실내에 균일한 배풍을 행하였다.

그림 5는 블로워 송풍방식 온풍난방기의 단면도 및 블로워 송풍방식 온풍난방기 내의 연소가스와 공기의 흐름도를 나타내고 있다.

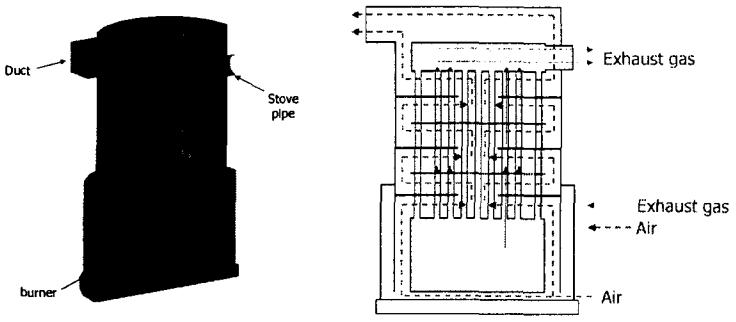

Fig 5. Cross-sectional view and flow plan of exhaust gas and air

나. 연료 사용량 비교 시험

본 시험에서는 연료유량계를 수평 설치하여 연료 사용량을 측정하고, 또한 난방 Degree hour(DH)를 산출하여 DH당 연료 사용량을 비교하여 난방연료의 절감율을 표 1과 같이 분석할 수 있었다.

Table 1. Comparison of fuel consumption

hot-air heater	date	time	degree hour (℃ · hr)	fuel consumption (ℓ)	fuel consumption/DH (ℓ/℃ · hr)	average	note
existing hot-air heater 3 EA	3/20	19:00~08:00	169.293	161.650	0.955	1.082	100%
	3/21	19:00~08:00	107.857	130.300	1.208		
hot-air heater with blower ventilative type 1EA	3/22	19:00~08:00	159.172	106.940	0.672	0.854	79%
	3/25	19:00~08:00	201.610	184.990	0.918		
	3/26	19:00~08:00	210.808	204.670	0.971		

블로워 송풍방식 온풍난방기 1대를 사용하여 난방을 할 때는 DH당 연료사용량이 평균 0.854 ℓ/℃ · hr로 기존 온풍난방기 3대를 사용하여 난방을 할 때 평균 1.082 ℓ/℃ · hr보다 21%의 난방연료비 절감효과를 얻을 수 있었다.

다. 온실내 온도분포 시험

공시온실에서의 온도분포는 기존 온풍난방기 가동시에는 동일시간대에 온실 내의 위치별 온도차가 최고 6.1℃인데 비해 블로워 송풍방식 온풍난방기 가동시에는 동일시간대의 온실 내의 위치별 온도차가 최고 3℃로써 기존 온풍난방기 가동시보다 경시적인 온도 변화를 나타내었다.

그림 6은 기존 온풍난방기 가동시 온실내의 온도 분포를 나타내고 있다.

그림 7은 블로워 송풍방식 온풍난방기 가동시 온실내의 온도 분포를 나타내고 있다.

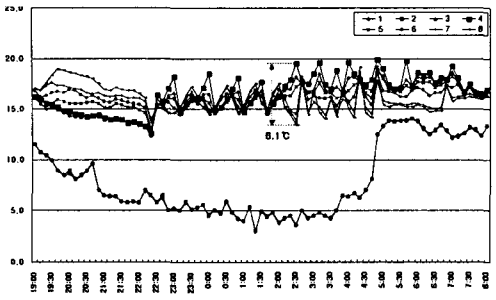

Fig 6. Temperature distribution of greenhouse using existing hot-air heater

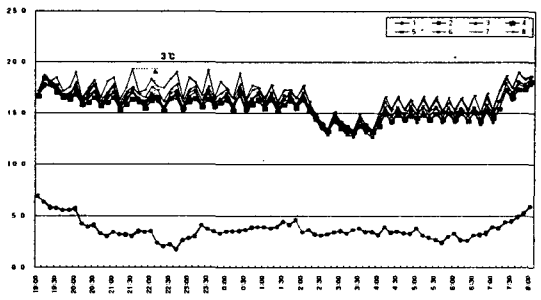

Fig 7. Temperature distribution of greenhouse using hot-air heater with blower ventilative type

4. 요약 및 결론

시설원예에서 난방장치를 사용하는 겨울철 재배 농산물의 생산비 중 난방 연료비가 30%~37% 정도를 차지하여 비중이 가장 높다. 따라서 시설원예 농가에서는 난방비를 절감하는 것이 농가소득과 직결되므로, 난방장치의 선정이 대단히 중요하다.

본 연구에서는 겨울철 재배 농산물의 생산비 중 30%~37% 정도를 차지하는 연료비를 절감하기 위해 기존의 온풍난방기와 다른 새로운 방식의 열교환기와 원심식 송풍블로워를 사용하는 블로워 송풍방식의 온풍난방기를 개발하고 개발된 온풍난방기의 가동으로 인한 난방 연료비 절감효과와 온실내의 균일한 온도분포를 획득하기 위해 8연동 비닐온실에서의 시험을 실시하였으며 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 저 정압용의 전동기 축직결식 송풍팬을 대신하여 고 정압용의 블로워 송풍팬을 장착하고 열교환 면적을 크게 한 지그재그식 환류의 열교환실을 채용한 온풍난방기를 개발하였다.

나. 공시한 온실에서 기존 온풍난방기의 2일 가동시 DH당 연료 사용량이 평균 1.082 ℓ/℃ · hr 이며, 블로워 송풍방식 온풍난방기의 3일 가동시 DH당 연료 사용량은 평균 0.854 ℓ/℃ · hr로써 21%의 난방 연료비 절감효과가 나타났다.

다. 블로워 송풍방식 온풍난방기는 동일시간대 3℃의 경시적 온도변화가 발생하였고, 기존의 온풍난방기의 동일시간대 온도변화는 최대 6.1℃로 나타나 개발된 블로워 송풍방식 온풍난방기가 동일시간대 온실내의 온도변화를 크게 줄일 수 있었고 온도분포를 비교적 균일하게 하는 효과가 있음을 확인하였다.

5. 참고문헌

1. 이기명외 5人 : 1999, 환경제어 및 관리 자동화, 일일사
2. 이기명, 박규식 : 1998, 생물산업시설 환경제어, 일일사
3. 한국농기계공업협동조합 : 2000-2001, 농업기계연감, pp.114-117
4. 강성남 : 2001, 유체기계, 북스힐
5. Poul V. Nelson : 1995, Greenhouse Operation and Management, Prentice-Hall