

나라 대부분의 온실에서 가장 많이 채택하고 있는 난방방법은 경유를 연료로 이용하는 온풍난방방법으로 알려져 있다. 온풍난방은 기본적으로 화석연료를 연소열로 변환시켜 온실난방에 사용하는 방법으로 온수난방이나 태양열 난방보다 열 효율이 높다. 가장 보편적 온실난방 방법은 경유나 보일러 등유를 연소실에서 연소하여 열교환기를 거친 후 온풍기의 상부에 부착되어 있는 송풍팬으로 강제적으로 온실내부로 온풍을 불어넣는다. 그러나 연소열 중 약 20% 정도의 열량은 배기가스의 형태로 외부에 방출되어 열손실이 대단히 크다. 이와 같이 손실되는 열량은 버너용량이 시간당 504천 kJ(12만kcal)의 경우 약 100.8천kJ(2만4천kcal) 열량이 대기 중으로 방출되고 있으며, 이를 전국적인 온실난방 차원에서 따지면 엄청난 량의 열손실로 볼 수 있고, 또한 배기가스에 포함되는 이산화탄소나 황화합물이 지구의 대기오염에 끼치는 영향이나 그린하우스 효과를 고려하면 배기열 손실의 회수는 매우 중요한 문제라는 것을 알 수 있다. 또한 최근에 들어서는 작물생육과 증수에 미치는 효과가 우수한 것으로 입증된 지중난방을 온실내부에 도입하는 농가가 늘어나고 있는 추세이며, 지중난방을 하기 위해서는 온수보일러를 설치하고 지중배관을 통하여 온수를 순환시키면서 작물의 근권부에 필요한 적정온도를 제공하여야 한다. 근권부의 적정온도는 작물의 종류 및 생육상태에 따라 다르지만 대략 20℃ 정도이며, 지중배관에 투입하는 온수의 온도는 30℃ 이하가 적절한 것으로 알려져 있다(경기도농업기술원 1999). 동절기 지중난방에 필요한 열량은 대략 평당 168kJ/hr(40 kcal/hr) 정도로 0.2ha(600평)의 온실에 필요한 지중난방열량은 0.2ha(600평)×168kJ/hr·평=100,800kJ/hr로서 현재 0.2ha에 사용되고 있는 온풍기의 배기열을 회수하여 이용한다면 온수보일러를 이용하지 않고도 충분히 지중난방부하를 부담할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 온풍기의 배기연도에서 배출되는 배기가스로 배출되는 열을 회수하여 지중난방에 이용할 목적으로 물을 열교환 매체로 하는 열교환기를 제작하여 배기열 회수성능을 조사하고, 온실에 설치하여 그 효과를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 열교환기의 특성 및 구조

온풍기의 배기열을 회수하는 시스템에서 가장 중요한 요소는 최대의 열교환이 이루어지도록 열교환기를 설계하는 것이다. 그러나 열교환기를 통과한 후의 최종 배기온도가 너무 낮으면(100℃ 이하) 열교환기 재질에 치명적 영향을 미치는 저온부식 현상이 일어난다. 따라서 최종 배기온도가 100℃ 이상이 되도록 열교환이 이루어져야 할 것이다. 이러한 제약조건을 고려하여 설계한 열교환기의 열전달 면적은 다음과 같이 계산하였다(이 등 1976).

$$q = m_w c_{pw} (\Delta T_w) \dots\dots\dots (1)$$

$$q = UA \Delta T_m \dots\dots\dots (2)$$

m_w : mass flow rate of water in the heat exchanger, kg/hr

c_{pw} : specific heat of water, kJ/kg · K

ΔT_w : temperature gained by water in the heat exchanger, K

U : total heat transfer coefficient, kJ/m² · hr K

A : total heat transfer area, m²

ΔT_m : logarithmic mean temperature difference, K

열교환기의 열교환 형태는 대향류형으로 설계하였으며, 배기가스는 열교환기의 상부에서 유입되어 하부로 이동하고, 물은 그 반대로 하부에서 순환펌프에 의해 강제로 유입되어 상부로 이동하는 구조로 제작하였다. 벽면은 이중벽으로 제작하여 배기가스와 물의 열교환이 최대로 이루어지도록 하였으며, 열교환기의 내부형상은 그림 1에서 보는 바와 같다.

열교환기의 전체 크기는 330×330×750 mm로 된 직육면체 기둥형태로 내부는 ϕ 15mm 구리관을 나선모양으로 감아 넣었으며, 식 (1), (2)에 의하여 계산된 총 전열면적은 1.5m²이었고, 열교환기내에서 고온의 배기열과 저온의 물이 접촉할 때 발생하는 응축수를 열교환기 바깥으로 배출시키기 위하여 열교환기의 바닥면에 드레인 밸브를 설치하였다.

나. 온풍기 배기열 이용 지중온수난방시스템

본 연구의 기본적인 구상은 그림 2에서 보는 바와 같이 온풍난방기의 배기열을 이용하는 지중난방시스템으로 주요 구성은 온풍기, 버너, 열교환기, 물탱크, 펌프로 이루어져 있다(표 1). 시험에

Table 1 Major components of the exhaust heat recovery system for plant bed heating

Major components		Specifications	Remarks
Heat exchanger	size	330 × 330 × 920	stainless steel
	heat transfer pipes	12.7 × 0.9t × 2rows × 16steps	copper
Water circulation	pump	220/380V, 0.5kW	
Air heater	burner	shinhung SHG-30G, 3.75gals	130,000 kcal/hr
	combustion chamber	∅ 700 × L1440 × 2.5t	
	heat transfer pipes	∅ 75 × L1440 × 1.5t, 2steps	

연소상태를 보기 위해 연도와 열교환기출구 부분에서 배기가스분석기(Sensonic 2000)로 배기가스의 성분을 측정하였다.

라. 현장시험

본 연구소에서 개발한 배기가스 온수 열교환 시스템을 실제상황에서 현장적응성과 문제점을 찾기 위하여 그대로 현장에 이동하여 설치하였다. 설치하우스는 750평으로 방울토마토를 재배하는 온실로서 충주시 신니면에 위치해 있으며, 지상부는 온풍기 2대(노즐분사량 4 gallons)를 가동하여 온풍난방을 하고 있으며, 지하부는 경유보일러(3만 kcal)로 배드난방을 하고 있었다. 배기가스 온수 열교환 시스템은 온실입구에 위치해 있는 온풍기에 부착하였고, 열교환기를 통과한 온수는 바로 보일러 온수탱크에 연결되도록 하였다. 순환펌프의 전원은 온풍기의 송풍팬의 전원에 연결하여 온풍기가 작동하면 동시에 물을 순환시켜 배기가스 열을 열교환기에서 회수할 수 있도록 구성하였으며, 본 열회수시스템의 성능을 분석하기 위하여 외기온도, 배기가스온도, 온수온도, 온풍온도 등을 온도센서와 온도기록계를 이용하여 측정하였다.

Fig. 1 Overview of the heat exchanger used in this experiment.

사용된 온풍기는 신홍SHG -30G버너와 hago노즐을 부착하고 있으며, 시간당 경유분무량은 14.17ℓ로서 이론발열량은 130,000kcal/hr였다. 물순환 펌프의 정격전력소비량은 0.5kW, 양정은 5m이며, 전원은 온풍기의 송풍기와 동시에 작동하도록 하였다. 이에 따라 온풍기가 동작되는 시간 동안에만 배기열이 회수되도록 하였다. 열교환기에서 회수된 온수는 바로 보일러의 온수탱크에 연결되어 지중베드용 보일러의 연료소모량을 최소화 할 수 있도록 하였으며, 열교환기는 그림 2와 같이 배기연도부분에 부착하였다.

다. 온도와 배기가스성분 측정위치

그림 3은 각 지점에서의 온도와 배기가스성분의 측정점을 나타내었다. 열교환기의 성능을 조사하기 위하여 물의 입출구 부분과 열교환기 전후부에 온도센서(T타입)를 설치하였고, 온풍기의 온풍온도와

3. 결과 및 고찰

가. 열교환수량에 따른 온도 변화

그림 4는 열교환기를 통과하는 유량에 따른 시간별 온도변화를 나타내고 있다. 전체적인 경향을 보면 온풍기가 가동하기 시작하여 열교환기로 유입된 22~27℃의 물이 약 7분이 경과한 후에 37~53℃로 높아졌으며, 이때 유량은 340~690ℓ/hr였다. 최고온도는 유량이 340ℓ/hr일때 53℃였고, 최저온도는 37℃로 690ℓ/hr에서 나타났다.

나. 열교환매체(물)의 유량에 따른 열회수량

물 유량에 따른 열교환량은 그림 5에서 보는 바와 같다. 열교환량은 열교환기를 통과하는 물이 얻은 열량을 말한다. 열교환량은 물 유량이 클수록 증가하였으며, 최대 열교환량은 690 l/hr 일 때 51,240kJ/hr 정도였고, 최소 열교환량은 45,360kJ/hr 로 유량은 340 l/hr였다.

시험에 사용한 온풍기의 열효율은 85%, 사용연료는 경유(발열량 38,346kJ/l)였으며, 연료소비량은 14.17 l/hr였다. 따라서 배기가스로 배출되는 열량은 87,712kJ/hr로 약 63%의 열량이 본 열교환기에 의해 회수된 것으로 분석되었다.

다. 연소상태

표 2는 열교환기를 부착했을 때와 부착하지 않

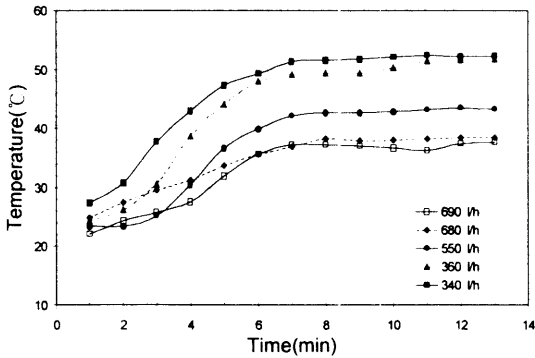


Fig. 4 Water temperatures variation with the water flow rate in the heat exchanger.

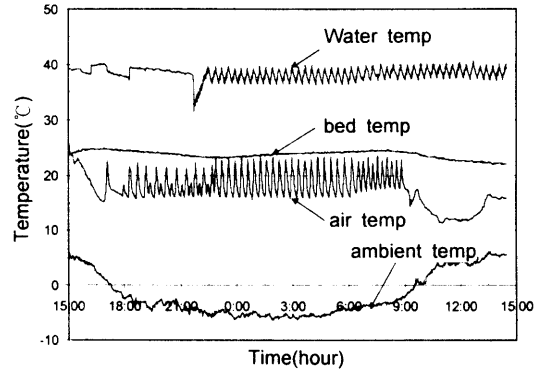


Fig. 6 Temperature variation of the greenhouse air and the fluid in the heat exchanger with the time.

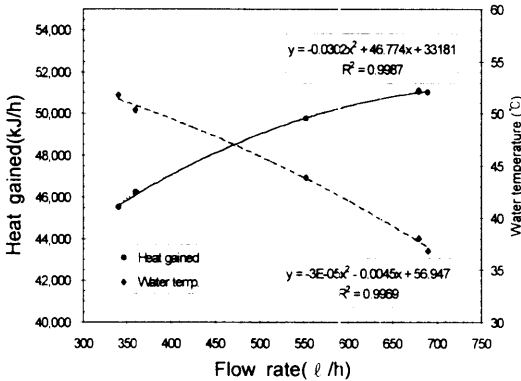


Fig. 5 Relationship between heat gain and hot water temperatures in the heat exchanger used in this experiment.

Table 2 Comparison of exhaust gas chemical compounds between the two cases or/and without heat exchanger in the hot air heater

	Flue gas temp. (°C)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	Air ratio
With heat exchanger	130	3.4	12.9	10	1.18
Without heat exchanger	270	3.5	12.8	9	1.2

있을 때 불완전연소의 지표가 되는 배기가스 중의 산소, 이산화탄소, 일산화탄소, 공기비를 나타낸다.

배기가스온도는 열교환기를 통과한 후 140°C 정도 떨어졌지만, 다른 성분은 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 온풍기의 버너 송풍력이 열교환기 부착으로 인한 연소부압을 충분히 극복할 수 있는 정도로 용량이 크다는 것을 의미한다고 하겠다. 시험설계시 열교환기를 온풍기 연도에 설치하면 역화나 연소부압현상 발생을 우려했지만 아무런 문제점을 발견할 수 없었으며, 현장적용성 시험에서도 열교환기 부착으로 인한 부작용은 발생하지 않았다.

라. 현장시험

(1) 하우스내의 온도변화

그림 6은 1999년 12월 15일 16시부터 익일 9시까지의 하우스내 온도변화 상태를 보이고 있다. 온수탱크 내의 물의 온도는 온풍기가 가동됨에 따라 열교환기에서 공급되는 온수에 의해 40°C까지 온도가 주기적으로 상승하였다. 하우스 실내의 온도는 온풍기의 가동으로 약 8°C 정도의 온도편차를 보이고 있었다. 이 때 외기온도는 -6°C까지 강하되었고, 배드온도는 23°C로 비교적 일정하게 유지되었다.

(2) 열교환기시스템 효율 분석

그림 7은 1999년 12월 15일 16시부터 익일 9시까지의 온풍난방기 배기가스 온수 열교환 시스템에서 열교환기 전후부에서의 가스 및 물의 온도변화를 나타내고 있다. 온풍난방기의 운전주기는 20분 정도로서 5분 가동에 15분 정지를 반복함을 알 수 있었다. 현장농가의 온풍기는 노즐의 연료분사량이 15.12 l/hr였고, 배기가스온도는 열교환기 전

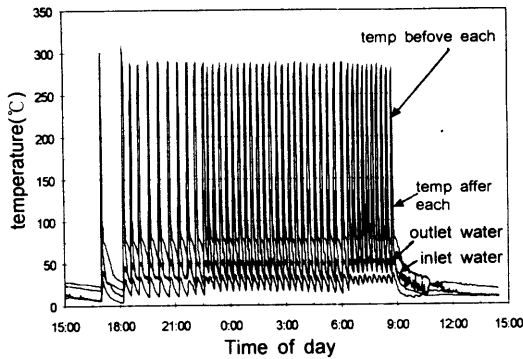


Fig. 7 Temperatures variation out the different positions of the exhaust gas-water heater recovery system during one day operation of the hot air heater.

후에서 각각 280, 130°C로서 약 150°C 온도 차이를 보이고 있었으며, 이 온도차이를 열교환기내를 순환하는 물이 흡수함을 알 수 있었다. 열교환기 입출구에서 순환수의 온도는 각각 32, 52°C 정도로서 약 20°C 온도차이를 보이고 있었다, 따라서 회수되는 배기가스열은 순환수량 물의 비열과 온도증가분에 의하여 산정할 수 있으며, 회수 열량은 57,960kJ/hr로 나타났다. 여기에 온풍기 가동시간을 곱하면 1일 회수열량을 알 수 있다. 보통 0.2ha(600평) 온실에는 온풍난방기가 2대가 설치되어 있으므로 열교환기를 2대 설치한다면 온수보일러에 소비되는 경유량을 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 1일 열회수량

현장에서 시험한 결과 1일 총열회수량은 온풍기 가동시 입출구온도 차이를 순환유량을 곱한 값에 총온풍기 가동시간을 누적시킴으로서 구할 수 있었다. 현장 농가에서는 보통 주간에는 온풍기를 사용하지 않고 오후 5~6시경 부터 운전스위치를 자동위치에 놓고 사용한다. 오후 6시부터 익일 오전 9시까지의 회수열량은 220,235kJ로 나타났으며 이는 경유 5.74ℓ에 상당하는 발열량이다. 따라서, 온풍기가 2대 있는 0.2ha(600평) 온실의 경우 이러한 배기열회수 지중 난방 온수시스템을 설치하면 1일 11.48ℓ 정도의 경유사용량을 절약할 수 있는 것으로 판단된다. 이는 현장농가의 지중보일러 1일 소요연료의 34%에 해당되었다 (김, 2000).

4. 결 론

온풍기의 배기가스로부터 회수한 열을 이용한

지중난방용 온수시스템의 성능시험과 현장시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 온풍기의 배기열을 회수하여 지중난방에 이용할 수 있는 에너지 절감 시스템을 구성하였으며, 주요부분은 온풍기, 열교환기, 순환펌프, 물탱크로 이루어져 있다.

2) 열교환기의 크기는 330×330×720mm로 직육면기둥형태로 구성하였고, 열교환은 동파이프와 열교환기의 이중벽을 통하여 이루어지도록 하였으며, 배기가스의 경로는 열교환기의 상부에서 하부로 물은 하부에서 상부로 이동하도록 대향류형으로 설계하였다.

3) 시작기의 열교환 성능은 유량이 많을수록 우수하였으며, 물이 얻은 최고열량은 51,240kJ/hr로 유량 690ℓ/hr에서 나타났으며, 이때 물이 얻은 온도증가분은 17.6°C였고, 이때 배기가스의 온도는 252°C에서 114°C로 저하되었다.

4) 본 시작기로 회수되는 열량은 배기열의 63%로 나타났지만, 이는 온풍기의 열효율에 따라 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

5) 열교환기를 부착한 후 온풍기내 연소로의 연소부압은 관측되지 않았고, 연소는 정상적으로 진행되었다는 것을 배기가스분석 결과 알 수 있었다.

6) 현장시험 결과 문제점은 발견되지 않았고, 1일 회수열량은 220,235kJ로 나타났으며, 이는 경유 5.75ℓ에 해당된다. 0.2ha(600평) 온실에는 보통 2대의 온풍기가 가동되므로 본 배기열 회수 지중난방 온수시스템으로 11.5ℓ/day의 경유절감이 이루어질 것으로 사료되며, 이는 현장농가의 지중보일러 1일 소요연료의 34%에 해당되었다.

참 고 문 헌

- Goyang Agricultural Technology Center in Kyeonggi-Do. 1999. Seminar and Agricultural Materials and Equipment Exhibition for Production Costs Reduction of Protected Crops.
- Kyeonggi Agricultural Technology Institute. 1999. Subsoil Heating Technology for Protected Crops Production.
- Kim, Y. J., Y. S. Ryou, J. T. Chang, J. H. Yun and Y. T. Yeon. 1999. Spraying and Combustion Characteristics of Heavy Oil in the Gun Type Burner for Hot Air Heater. Journal of KSAM 24(2) (In Korean)
- Kim, Y. J. 2000. Personal Data
- Kim, Y. J., Y. S. Ryou, J. T. Chang and K. J. Rhee. 1999. Development of LPG hot air heater for greenhouse heating. Proceedings of the KSAM 1999 Summer Conference. (In Korean)
- Lee, J. O. and H. Y. Park. 1976. Heat Transfer. Kwanglim Sa. (In Korean)