

간접열식 LPG온풍난방기 개발

Development of LPG hot air heater for greenhouse heating

김영중* 유영선* 장진택* 이건중*
정회원 정회원 정회원 정회원

Y.J.Kim Y.S. Ryou J.T. Chang K.J. Rhee

1. 서론

간접열식 LPG온풍난방기는 LP(Liquefied Petroleum)가스를 열원으로 한 온풍난방기를 말한다. LP가스는 프로판(Propane, C_3H_8)과 부탄(Butane, C_4H_{10})을 주성분으로 하는 혼합물로 에탄, 프로필렌, 부틸렌 등이 약간 포함되어 있는 기체로 액화 및 기화가 쉬우며 기체상태에서는 비중이 공기보다 무겁고 액체상태에서는 물보다 가볍다. 또한, 기화할 때는 다량의 열과 연소시 많은 공기를 필요로 하고 온도에 따라 액체의 부피가 변하는 특성을 가지고 있으며 무색, 무취, 무독하다. LP가스의 발열량은 $12,000\text{kcal/kg}$ 으로 경유나 보일러등유 보다 약 30% 정도 높아 난방연료로서의 사용 및 취급성이 우수하다. 농업에서 LP가스의 사용은 이제 시작 단계라 할 수 있고 1998년에는 LP가스가 농업용 면세품목으로 10,700톤이 배정되어 앞으로 LP가스의 수요가 늘어날 전망이다. 더욱이 LP가스는 청정연료로 완전연소가 가능하며 연소 시 다량의 탄산가스가 생성되므로 온실에서 난방용으로 사용할 경우 이를 작물의 광합성에 이용할 수 있는 장점이 있다. 탄산가스시비는 공기중의 탄산가스농도를 인위적으로 높여줌으로써 부족한 탄산가스를 공급하여 작물의 생육촉진 혹은 수량증대, 품질향상 등의 목적으로 행해지는 기술이다. 대기 중의 탄산가스농도는 350ppm으로 아침 일찍 환기하지 않으면 작물의 광합성에 의해 온실 내의 탄산가스농도는 급격히 저하하여 작물의 성장에 장애를 미치므로(박 등, 1998) 액화탄산가스를 기화시키거나 LPG를 연소시켜 적정탄산가스농도(600~1,000ppm)를 유지시켜 주고 있으며, 일부 시설재배농가에서는 온실 내에 설치한 직화식 온풍난방기에서 배출되는 탄산가스를 이용하고 있다. 그러나, 직화식온풍난방시스템은 사용상의 문제로 인해 온실 내에서 탄산가스가 고농도로 축적되어서 작물에 피해가 있을 수 있고 실제로 피해상황이 보고되고 있다. 이 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 온실난방용 간접열식 LPG 온풍난방기를 개발하고 연소시 발생하는 배기탄산가스를 온실 내로 유인할 수 있는 시스템을 개발하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. LPG온풍난방기 제작

(1) LP가스의 기화량 결정

가스버너의 가스공급량 및 LP가스 탱크크기와 자연기화량은 밀접한 관계가 있다. 온풍기의 용량이 결정되면 이에 상응한 공급가스량을 결정해야 하는데 LP가스는 온도와 가스용기의 크기에 따라 자연기화량이 다르므로 이에 따라 용기수를 결정해야 한다. 표 1은 각 온

* 농업기계화연구소

도점에서 가스용기의 크기에 따른 LP가스의 자연기화량을 나타낸다 (LG-Caltex, 1998).

Table 1. Amount of LP gas evaporated in the different ambient air temperature. (unit:kg/hr)

ambient air temperature (°C)	20kg container	50kg container	0.5ton tank	1ton tank	2ton tank	3ton tank
5	1.8	4.4	10.62	19.36	36.85	44.16
0	1.5	3.7	9.05	16.51	31.41	37.64
-5	1.2	3.0	7.48	13.65	25.98	31.13
-10	1.0	2.4	5.92	10.79	20.54	24.61
-15	0.7	1.7	4.35	7.94	15.10	18.10
-20	0.4	1.0	2.78	5.08	9.67	11.58

* The number represents the evaporating gas amount when 30% of gas remains in the containers or tanks.

(2) LPG은풍난방기 구조

본 시험에 사용한 LPG은풍난방기의 구조 및 주요 제원은 그림 1, 2 및 표 2와 같다.

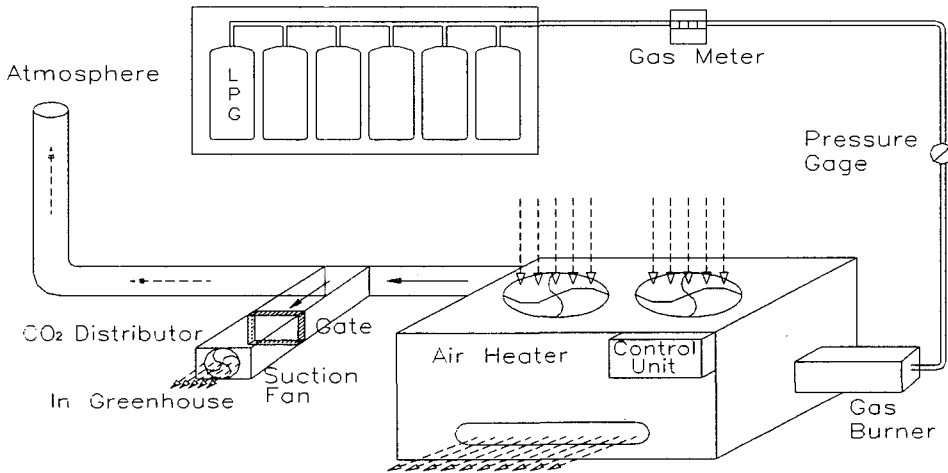


Fig. 1. Overview of LPG air heater

은풍기는 정격용량 18×10^4 kcal 은풍기를 사용하였고 버너는 가스버너를 사용하였다. LP가스를 공급하기 위하여 버너의 연소능력과 LP가스의 자연기화량을 고려하여 50kg 용기 6개가 포함된 가스공급시설을 설치하였다. 배기탄산가스를 온실 내로 유인하기 위해 연도가스출구부분에 시로코펜과 게이트로 구성된 탄산가스공급장치

를 부착하였다.

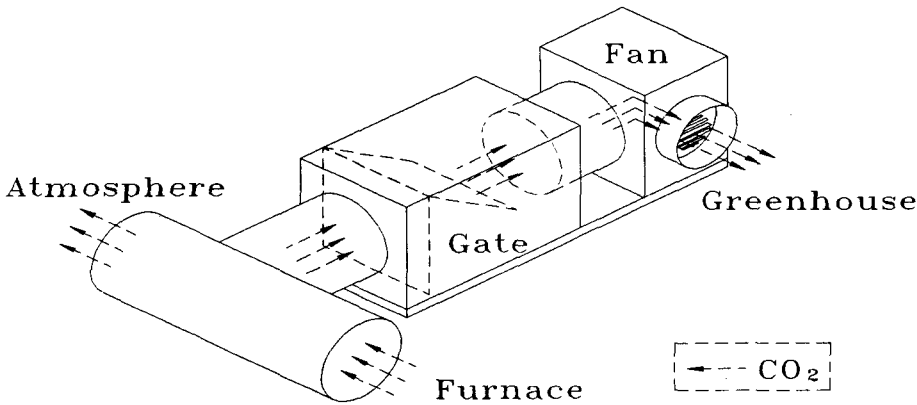


Fig. 2. View of CO₂ supplier

Table 2. Details of the LPG air heater.

item		specifications
burner		gun type gas burner 161,000 kcal/hr
furnace and heat exchanger	capacity	18,000kcal/hr
	furnace	∅ 700 × L1740 × 2.5t
	heat exchanger	∅ 75 × L1440 × 1.5t, 2steps
LPG container		50kg × 6
CO ₂ supplier	type	suction type
	dimension	160 × W30 × H35
	fan	sirocco fan airflow rate 1200m ³ /hr

(3) 시험방법

시작기의 성능을 조사하기 위하여 배기가스측정기(Sensonic 2000)로 연소가스성분을 측정하였으며 온풍온도, 가스소비량을 계측하였고 탄산가스공급장치의 성능을 측정하였다. 탄산가스를 온실에 유인했을 때 탄산가스 농도변화는 탄산가스측정기(Priva 250E CO₂ Monitor)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시작기의 성능

표 3은 시작기의 성능을 나타내고 있다

Table 3. The performance of the prototype LPG air heater

item		measured value		remarks	
calorific value(kcal)		179,000		gas pressure = 230mmAq calorific value of LPG= 12,000 kcal/kg	
consumed gas amount(kg/h)		14.92			
exhaust gas		flue gas	CO ₂ supplier	maximum gas amounts in industrial sites(Korea) (exposed period for 8 hours) CO : 50ppm CO ₂ : 5,000ppm NO : 25ppm NO ₂ : 3ppm SO ₂ : 2ppm * to excess the maximum amount of NO in 10a greenhouse . the CO ₂ supplier shall be operated for 14 hours without any interruption.	
		O ₂ (%)	3		14.5
		CO ₂ (%)	11.74		4.22
		CO(ppm)	0		0
		NO(ppm)	54		13
		SO ₂ (ppm)	7		8
		excess air ratio	1.16		
	theoretical combustion efficiency (%)	90.4			
	flue gas temperature (°C)	253			
	warm air temperature (°C)	80	89		
thermal efficiency of prototype(%)		86			

※ thermal efficiency of prototype: $\eta = (1 - \text{total heat loss}/\text{total heat provided}) \times 100 (\%)$

연소배출가스 분석값은 건연소가스 속에 함유된 조성비로 나타내며 연소가스는 CO₂, SO₂, CO, O₂, N₂ 등으로 구성되었다(이 등, 1998). 시작기의 이론적연소효율은 90.4%로 나왔으며 CO는 검출되지 않았고 CO₂는 배기가스중의 11.74%를 차지했다. 이 CO₂ 값은 LPG의 완전연소가 될 경우의 최대 CO₂값(13.8~15.1%)에 미치지 못했지만 과잉공기비 1.16으로서 연소상태가 우수했다는 것을 알 수 있었다. 연소가스 온도는 253°C 온풍기 토출구에서 온풍온도는 80°C가 되었다. CO₂ 공급기로 부터 배

출되는 NO 및 SO₂의 농도는 각각 13, 8ppm으로 나타났고 이러한 농도의 가스가 300평 온실을 채운다고 가정하면 NO가 우리 나라 산업안전보건법에서 규정한 규정치를 초과하려면 14시간 연속 운전하여야 하므로 배기가스를 온실 내로 유입하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

나. 온실 내의 CO₂ 농도변화

그림 3은 온풍과 배기탄산가스를 온실 내로 유입했을 때 온실 내의 온도와 탄산가스농도 변화상태를 보여준다. 온실 내의 초기온도는 18℃, 초기 탄산가스농도는 300ppm에서 시작기를 운전시켜 본 결과 180분 만에 실내 온도는 27℃, 탄산가스농도는 4,000ppm으로 증가하였다.

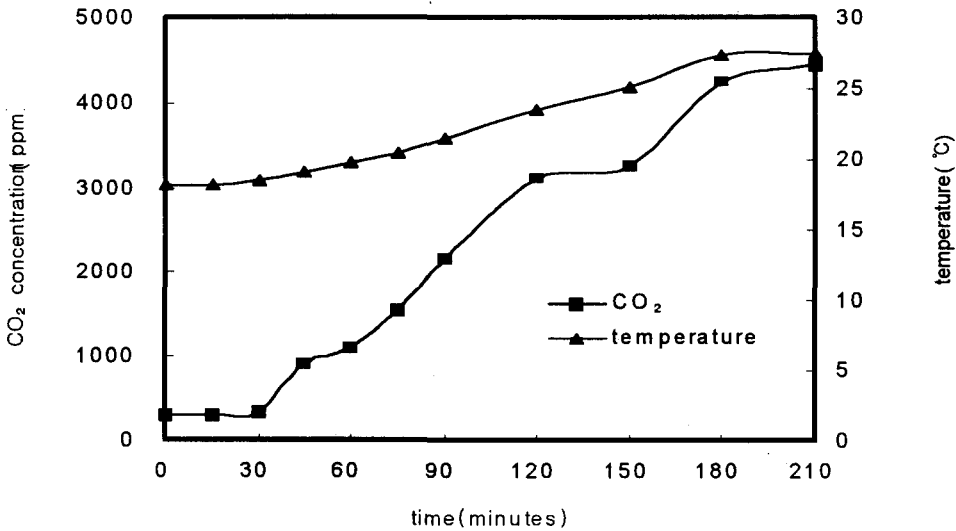


Fig. 3. The changes of CO₂ concentration and temperature in the greenhouse of 8,350m²(300pyung, 1-2W) when hot air and CO₂ were supplied from prototype LPG air heater.

온실 작물의 광합성 적정농도는 600~1,000ppm으로 300평 온실에서 본 시작기를 사용한다면 1시간의 운전으로 적정농도에 도달할 수 있을 것으로 사료된다.

다. 시작기의 경제성 분석

간접열식 LPG온풍기와 경유온풍기의 경제성을 비교하였다(표 4). LPG온풍난방기에 포함되는 비용은 LPG탱크(1.6톤)- 500만원, 온풍기(가스버너 포함)-550만원, 기타 배관 및 설치비- 150만원으로 계산하여 총 비용이 1,200만원이 되었다. 반면, 경유온풍기는 500만원으로 계상 하였고 내구연한은 경유온풍기 5년, LPG온풍기 10년으로 정하였다.

Table 4. Economic analysis and comparison between the two air heaters

item		light oil air heater	LPG air heater
capacity		180,000kcal/hr	180,000kcal/hr
purchase price (thousand won)		5,000	12,000
durable year(yr)		5	10
total use hours/yr		659	506
annual fixed cost (won/yr)	depreciation	900,000	1,080,000
	repair cost	250,000	600,000
	interest	137,500	330,000
	sum	1,287,500	2,010,000
fixed cost (won원/hr)		1,954	3,972
operating cost (won/hr)	fuel	5,929	6,525
	electricity	160	160
	sun	6,089	6,685
total cost (won/hr)		8,042	10,657
index		100	133
annual operation cost(won/yr)		4,012,417	3,382,430
annual cost per yr(won)		5,299,917	5,392,430

♩ 수리비계수, 연이율 : 5%

♪ 연료비: 면세보일러등유: 242원/ℓ, 면세LPG: 435원/kg

♫ 전기료: 농사용(병): 36.7원/kwh

연간사용시간은 경유온풍기 659시간, LPG온풍기는 열효율과 경유보다 상대적으로 높은 발열량을 고려하여(경유 : LPG = 1 : 1.3) 506시간으로 정하여 비교 해본 결과 연간유동비는 각각 4,012,417, 3,382,430원으로 LPG온풍기가 72만원 정도가 낮았지만 연간소요비용은 LPG의 상대적으로 높은 초기설치비용 때문에 경유온풍기보다 10만원 정도가 더 소요되었다. 그러나, 배기탄산가스 공급에 의한 작물의 수량증수, 생산물의 고품질 효과를 고려한다면 장기적 관점에서 LPG온풍기 사용이 더 경제적이라 할 수 있다. 그림 4는 경유가격을 기준으로 LPG온풍난방기와 경유온풍난방기의 연간유동비를 나타낸 것으로 현재 LP가격 435원을 기준으로 면세경유가격이 247.75원이면 두 온풍기의 연간유동비가 같고 경유가격이 247.75원 이상으로 오르면 LPG온풍기가 더 유리한 것으로 나타났다. 따라서 현 시점에서 면세경유가

격은 242원으로 LPG온풍기를 선택하여도 크게 불리하지 만은 않다고 사료된다.

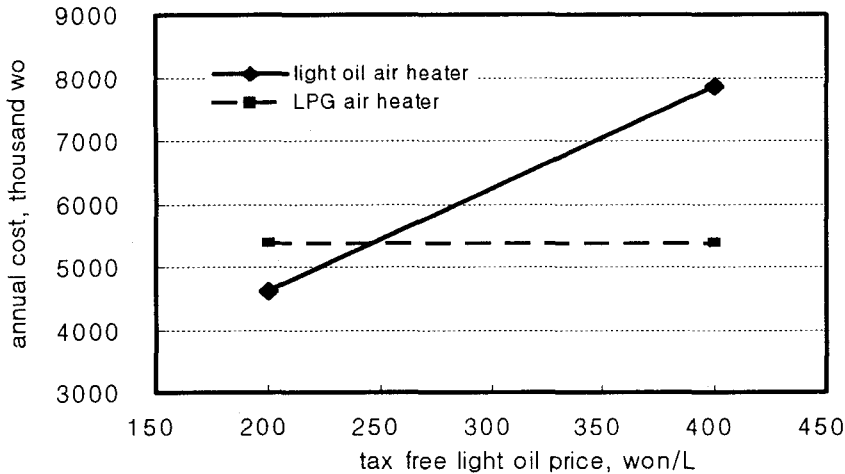


Fig. 4. Annual cost comparison between LPG air heater and Light oil air heater

4. 요약 및 결론

1. LPG 온풍기는 용량 16×10^4 kcal 건타입가스버너, 연소부 및 열교환부, 6개의 50kg LPG탱크와 자동절체기, 가스메타, 배관으로 구성하였다. LPG 온풍기의 이론연소 효율은 91%, CO₂ 배출량은 11.74%, CO배출량은 0ppm, 과잉공기비는 1.16, 배기가스온도는 253°C, 온풍온도는 80°C로서 우수한 성능으로 나타났다.
2. LPG온풍기에서 배출되는 배기가스중의 CO₂ 를 온실로 공급하기 위하여 CO₂ 공급기를 제작하여 배출가스연도에 부착하였다. CO₂ 공급기는 흡입형 시로코펜 (1200m³/h)과 차단문으로 이루어졌다. 1-2W형 300평 온실내의 CO₂ 농도를 1000ppm으로 올리기 위해서는 CO₂ 공급기를 약 1시간 정도 운전시켜야 할 것으로 판단되었다.
3. LPG온풍기와 경유온풍기의 경제성 비교분석에 의하면 현 시점의 경유가격 242원, LP가스 가격 435원을 기준으로 연간소요비용은 각각 5,392,430원, 5,299,917원으로 경유온풍기가 10만원 정도 경제적이지만 탄산가스 시용비용, 탄산가스 공급으로 인한 작물의 수량증대 및 고품질 생산물을 고려한다면 LPG온풍기 사용이 더 경제적이라 사료된다.

5. 참고문헌

- (1) 박석근 외 3인. 1998. 원시인이 꼭 알아야 할 용어 384가지 - 기초원예용어집- 도서출판 서원 pp. 204.
- (2) 이규성 외 5인. 1998. 연소공학. 형설출판사. pp. 129.
- (3) LG-Caltex가스주식회사 연구개발팀. 1998. LP가스를 이용한 온실난방.