가정용 가스레인지 열효율과 배출성능에 미치는 설계 인자에 관한 실험적 연구

최인찬*, 송도현*, 양시진*, 이기만**
순천대학교*우주항공공학전공, **기계우주항공공학부
e-mail : kmlee@sunchon.ac.kr

An Experimental Study on the Design Factor affecting the Thermal Efficiency and Emission Performance for Domestic Gas Range

In-chan Choi*, Do-hyun Song*, Si-jin Yang*, Kee-man Lee**
Department of Aerospace engineering, Sunchon national University*

요 약

본 연구는 산학연구로 위탁된 가스레인지 신규 개발에 필요한 설계 인자를 선행적으로 파악할 목적으로 시판 중인 가정용 가스레인지를 선정하여 성능에 미치는 주요 설계 인자들의 영향을 실험적인 방법으로 파악하였다. 수행된 연구는 가스레인지에 공급되는 연료 공급압력, 연료 노즐의 분사 위치와 적재 높이에 따른 열효율과 연소 배기가스량을 측정하여 이들 변수들이 종합 성능에 미치는 영향에 대해서 주로 조사되었다. 본 연구를 통하여 성능에 영향을 주는 최적화된 적재 높이와 연료 노즐 분사 위치가 존재함을 확인하였으며, 이러한 결과는 업체의 신규 개발에 유익한 정보로 활용될 예정이다.

기호 설명

η : 열효율(%)

M : 가열(시험)에 사용한 물의 질량(kg)

C : 가열에 사용한 물의 비열$[MJ/(kg \cdot K)] = 4.19 \times 10^{-3}$ $\{kcal/(kg \cdot K) \fallingdotseq 1\}$

t_1 : 가열에 사용한 물의 처음온도(℃)

t_2 : 가열된 물의 최종 온도(℃)

f_1 : 물의 초기 온도(℃)

V : 실측가스 소비량(m^3)

Q : 시험가스의 총발열량$(MJ/m_N^3)\,kcal/m_N^3$

t_g : 측정시의 가스미터 내의 가스온도(℃)

B : 측정시의 대기압$(kPa)mmHg$

S : 온도 t_g℃에서의 포화 수증기압$(kPa)mmHg$

P_m : 측정시의 가스미터 내의 가스 압력$(kPa)mmHg$

L_n : 혼합관 입구에서 노즐까지의 거리(mm)

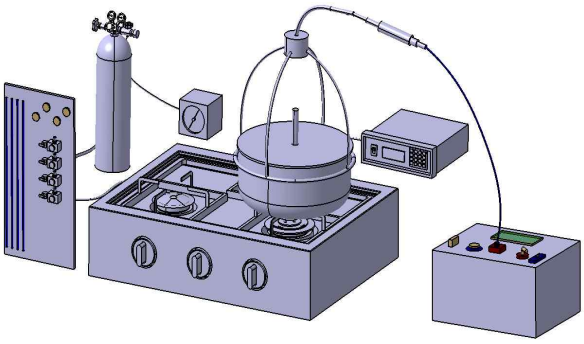
L_d : 혼합관 입구부터 목까지의 거리(mm)

1. 서 론

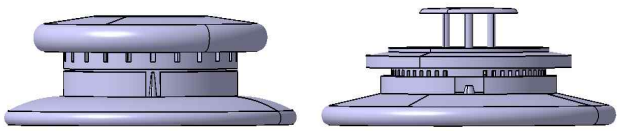
가스레인지(gas range)는 1970년대에 최초로 우리나라에 보급되어 현재까지 많은 가정에서 사용하고 있다. 주방 문화의 발전에 따라 가스레인지를 대체하는 전열기의 등장이 있었지만 여전히 가정의 주방에서는 가스레인지는 가장 보편화되어있다.

한편, 가스레인지 열효율 성능에 영향을 미치는 인자들은 가스의 공급 압력, 버너의 형상, 분사 노즐과의 거리 등으로 보고되고 있는데, 최근에는 세계의 주요 관심사인 환경 보호를 위한 연소 배기가스에 의한 배출 성능도 고려되어 설계되는 추세이다. R. Junus 등[1][2]과 J.F. Stubington 등[3][4]은 쿡탑(cooktop)의 위치, 크기, 모양 등이 열효율에 영향을 미치고 있음을 확인하였고, 특히 가정용 가스레인지에 공급되어지는 열량이 많아질수록 질소산화물은 많이 배출되었지만, 일산화질소에서 이산화질소로의 변화율은 오히려 적은 양의 열량 공급 시 더 많이 발생한다고 보고하였다. 이러한 연구 중에 버너의 형상이 부분 예혼합 가정용 가스버너에서 배기가스에 중요한 영향을 미치는 요소 중에 하나라는 것이 밝혀졌으며, 이에 대한 연구들이 진행되어 왔다.

가스레인지 버너 설계에 있어서 주된 성능인자는 이전의 연구 문헌들[5]-[7]을 종합하여 보면, 적절한 연료와 공기의 공급, 화염 조절의 용이함, 화염 형상과 안정적인 화염 구조 등으로 분석되는데 이러한 특성 파악을 위해서는 버너에서의 형상과 작동에 대



[Fig. 1] Experimental apparatus



[Fig. 2] Shape of single(left) and double cap(right side)

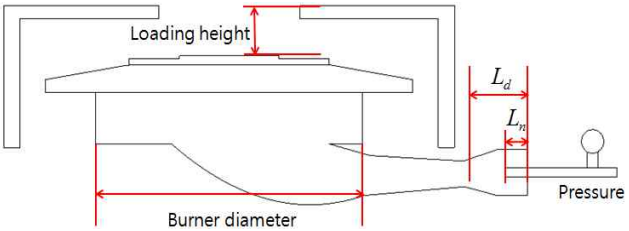
한 이해가 필수적이다.

본 연구는 지역 업체로부터 가정용 가스레인지 신규 사업 참여 일환으로 본 대학과의 산학과제로 의뢰되어 개발에 필요한 설계 용역에 관한 연구로서, 가스레인지에 성능에 미치는 인자를 선행적으로 파악하고자, 현재 시중에서 시판되고 있는 가스레인지를 임의로 선정하여 연구를 수행하였다. 따라서 가정용 가스레인지 설계에서 고려될 수 있는 성능 인자들이 열효율과 연소 배기가스 배출성능에 미치는 영향을 선 파악하여 개발에 필요한 정보를 제공하고자 한다. 이를 위해 성능인자로 공급되는 가스 공급 압력, 연료 분사노즐의 위치와 받침대 높이 변화에 따른 열효율을 측정하고, 배기가스 분석기로 연소 배출 특성을 파악하여 가스레인지에 성능에 미치는 설계 인자들의 영향을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

가스레인지 성능에 영향을 주는 인자를 파악하고자 KS 규격에 따라 실험을 수행하였으며, 가스레인지의 열효율과 배기가스 측정을 위한 실험장치를 Fig.1에 나타내었다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸 그림이며, Fig. 2는 실험에 사용된 대 버너 성능에서 열효율 향상 목적으로 구성된 단일 버너 캡과 이중 버너 캡의 형상을 보여주고 있다. 실험에 사용된 가스레인지는 상용 LPG 가스를 연료로 사용하는 시판 중인 모 제조사의 가정용 가스레인지를 선정하였다. 열효율을 측정



[Fig. 3] Schematic diagram of performance parameters

[Table 1] Experimental conditions

Parameters	Unit	Experimental condition
Inlet gas pressure	kPa	2.3 / 2.8* / 3.3
Loading height	mm	12* / 18 / 24
Burner diameter	mm	58* / 79 / 100
Ln/Ld	-	0.285 / 0.5* / 0.715
Shape of cap	-	single* / double
Fuel	-	상용 LPG

* standard condition

하기 위해 KS 규격 냄비는 버너크기에 따른 가스소비량 별로 각각 준비하였으며, 연소 시 발생되는 배기가스 배출성능을 측정하기 위하여 NDIR 방식의 독일산 배기가스 분석기(MGA5)를 사용하였다.

2.2 실험조건 및 방법

본 실험의 방법은 KS B 8101(연소기기의 시험방법)에 의거하여 실험을 수행하였으며, 표1은 이에 따른 상세한 실험 조건을 나타낸다. 연료는 상용 LPG 가스를 사용하였으며, 가스의 유량을 조절하기 위하여 습식 가스미터(wet gas meter)와 액주계(manometer)를 사용하였고, 유량 검정을 위하여 버블미터(bubble meter)를 사용하였다.

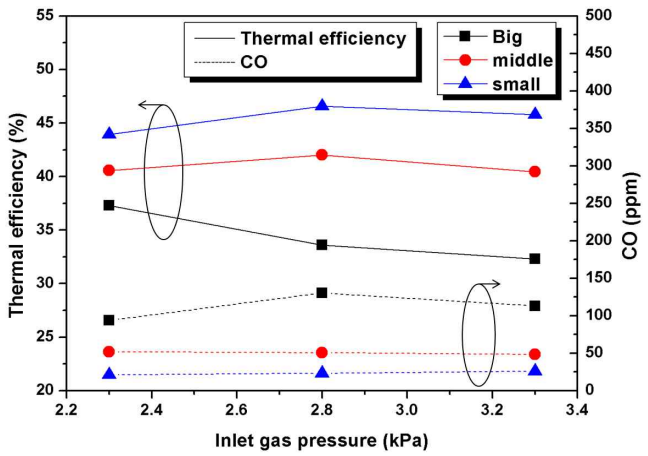
버너는 벤츄리 형상의 혼합 관(mixing tube) 헤더 직경 크기에 따라 3가지 종류를 사용하였으며, 100mm 구경의 대 버너에 대해서는 Fig.2와 같이 일반 캡과 이중 캡을 사용하여 결과를 비교했다. 가스 노즐의 거리는 혼합 관 입구부터 연료 분사 노즐까지의 거리(Ln)를 혼합 관 입구에서 벤츄리 목(throat)까지의 거리(Ld)로 나누어 수치를 무차원화 시켰으며, 열효율은 KS B 8114에 의거하여 산출하였는데 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\eta = \frac{M \times C(t_2 - t_1)}{V \times Q} \times \frac{273 + t_g}{273} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \times 100 \qquad (1)$$

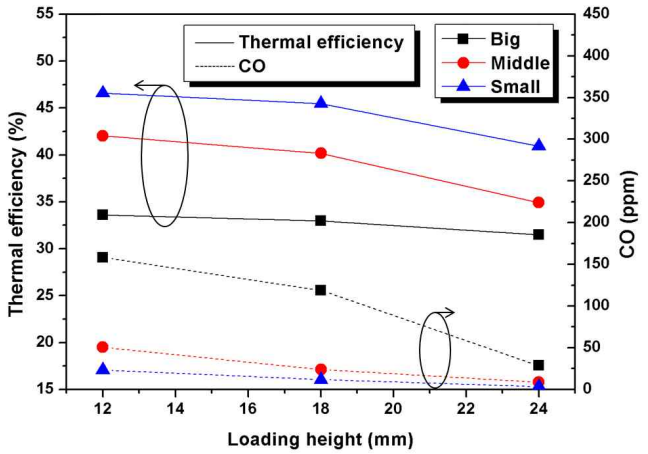
3. 실험결과 및 고찰

3.1 공급 압력 변화에 따른 성능 특성

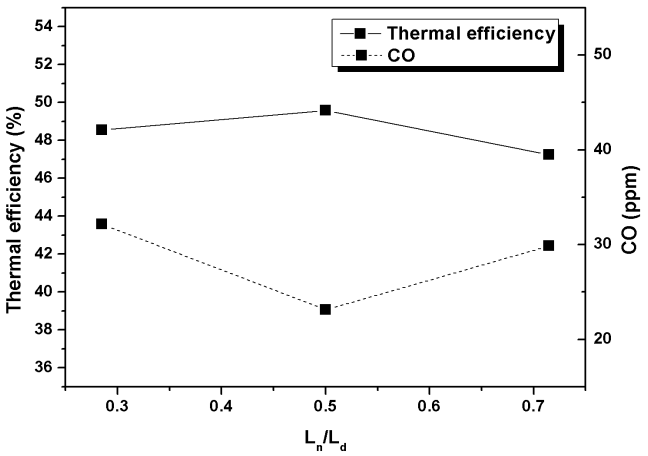
공급되는 연료 가스의 압력 변화가 가스레인지의



[Fig. 4] Thermal efficiency and CO emission according to inlet gas pressure



[Fig. 5] Thermal efficiency and CO emission according to loading height



[Fig. 6] Thermal efficiency and CO emission according to nozzle distance

열효율과 연소 배기가스 배출성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 유입되는 가스의 압력을 KS 시험 규격에서 정하고 있는 2.3kPa부터 3.3kPa까지 변화한 경우 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

연료가스 공급 압력이 증가함에 따라 중 버너와 소 버너에서는 열효율이 소폭 상승하는 경향을 보였으나, 일정 압력 이후부터는 약간씩 감소하는 추세를 보였다. 이에 따른 배출성능의 주요 지수인 일산화탄소(CO)의 배출량은 가스 압력의 증가에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 공급가스 압력 증가에 따른 유량 증가로도 연소 상태가 양호하게 이루어지는 것으로 판단되나, 일정 이상의 유량에서는 오히려 열효율이 약간 저하되는 것으로 나타났다.

반면에 대 버너에서는 중 버너와 소 버너와는 달리 열효율이 계속 감소하는 경향을 나타내었고, 이에 따라 CO의 배출량 또한 증가하고 일정 압력 이후에는 소폭 감소하는 경향을 보였는데 대 버너의 이러한 경향에 대해서는 추후 연구를 통해 원인을 분석할 예정이다.

3.2 적재 높이 변화에 따른 성능 특성

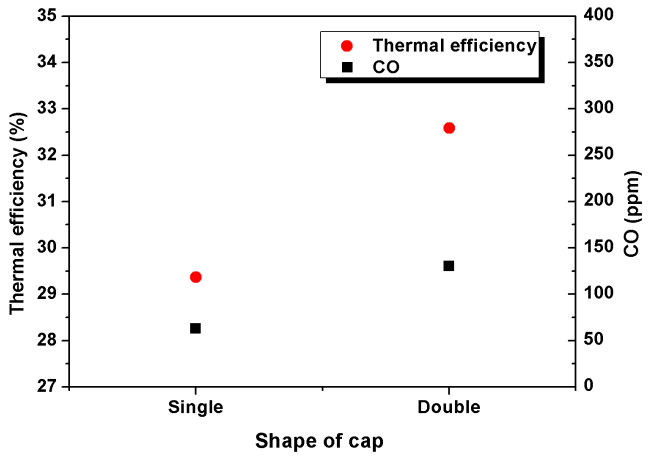
Fig.5는 가스레인지의 버너 삼발이 높이에 해당되는 적재 높이의 변화에 따른 열효율 및 배기가스 배출성능을 보여주고 있다. 적재 높이가 증가함에 따라 일정 높이까지는 열효율 차이가 미비하나 일정 높이 이상에서는 열효율이 감소하는 경향을 보임으로써 최적화된 높이가 존재함을 암시하고 있다. 따라서 일정 높이 이상에서는 용기와 버너 화구와의 간격 증가에 따른 열전달률 감소가 예상된다.

또한 적재높이의 증가에 따라 배기가스 배출량의 감소를 확인할 수 있었는데, 이는 적재 높이의 증가에 따라 2차 공기 접촉면의 증가로 인해 버너에서의 연소가 더 잘 이루어지는 것으로 판단된다.

3.3 연료 노즐 분사 위치에 따른 성능 특성

노즐의 분사 거리는 1차 공기의 유입량을 조절하는 중요한 인자로서 그 특성을 파악하기 위하여 실험은 소 버너(58mm)로 진행하였는데, 혼합 관 입구로부터 분사 노즐 위치까지의 길이(L_n)가 변화한 경우 열효율과 배기가스 배출량을 측정하여 혼합 관 입구부터 벤츄리 목까지의 거리(L_d)로 무차원하여 그 결과를 Fig.6에 나타내었다.

혼합 관 입구로부터 분사 노즐의 위치가 증가함에 따라 열효율이 증가하는 추세를 보이고 있으나, 일정 거리 이상이 되면 다시 감소하는 추세를 보이고 있다. 배기가스 배출량 또한 혼합 관 입구로부터 노즐 위치가 증가함에 따라 CO의 양은 감소하지만 일정 거리 이상이 되면 다시 증가하는 경향으로 나타났다. 이는 혼합 관 입구로부터 분사 노즐의 거리가



[Fig. 7] Thermal efficiency and CO emission according to shape of cap

증가함에 따른 연료 분사 속도에 의한 1차 공기 흡입량이 늘어나 열효율과 배기가스 성능을 높인 것으로 판단되며, 일정거리 이상에는 오히려 열효율과 배출성능을 저하시키는 것으로 확인되어 이 경우에서도 최적화된 분사 위치가 존재함을 알 수 있다.

3.4 캡 형상에 따른 성능 특성

캡의 형상에 따른 열효율과 배기가스 특성을 알아보기 위해 Fig.2에 나타낸 단일 캡과 이중 캡의 대 버너(100mm)를 통해 실험을 수행하였다. Fig.7에서 보는 바와 같이 이중 캡을 사용했을 때 열효율이 단일 캡에 비해 높게 나타났으며, CO의 배출량 또한 이중 캡에서 조금 더 높게 측정 되었다.

4. 결 론

가정용 가스레인지의 열효율과 연소 배출성능에 미치는 설계 인자에 대한 특성을 파악하기 위하여 주요 변수로 버너의 크기, 유입 가스의 압력, 연료노즐의 위치, 적재 높이 등에 따른 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연료 가스 공급 압력을 2.3kPa부터 3.3kPa로 증가함에 따라 전반적으로 열효율은 소폭 상승하는 경향을 보이고, 배기가스 배출량은 거의 변화가 없음을 확인했다. 다른 경향을 보인 대 버너에 대한 분석은 추후 연구를 필요로 하였다.
2) 적재 높이를 12mm에서 24mm까지 변화함에 따른 열효율과 연소 배출성능 모두에서는 감소하는 경향이 있음을 확인하였다.
3) 혼합 관 입구로부터 연료 분사 노즐까지의 거리가 증가함에 따라 열효율과 배기가스 성능이 증가하는 경향을 보이지만 일정 거리 이상이 되면 다시 감소되는 것으로 나타나, 최적의 분사 노즐 위치가 존재함을 확인하였다.
4) 대 버너에서 이중 캡이 단일 캡에 비해 열효율이 더 높지만 CO의 배출량은 약간 증가하는 것으로 확인되었다.

후 기

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다.(NRF-2012-0001474)

참고문헌

[1] R. Junus, J. F. Stubington, and G. D. Sergeant, "The effects of design factors on emissions from natural gas cooktop burners", International Journal of Environmental Studies, Vol. 45, pp. 101-121. 1994.

[2] R. Junus, J. E. Vierkant, J. F. Stubington, G. D. Sergeant, and I. Tas, "The effects of the design of the cap of a naturally gas-fired cooktop burner on flame stability", International Journal of Energy Research, Vol. 22, pp. 175-184. 1998.

[3] J. F. Stubington and W. Zou, "Efficient low-emission burners for natural gas domestic cooktops", Journal of the Institute of Energy, Vol. 73, pp. 35-42, 2000.

[4] J. F. Stubington, G. Beashel, T. Murphy, R. Junus, P. J. Ashman, and G. D. Sergeant, "Emissions and efficiency from production cooktop burners firing natural gas", Journal of the Institute of Energy, Vol. 67, pp. 143-155, 1994.

[5] Shuhn-Shyurng Hou, "Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame", Energy Conversion and Management 48, pp. 1401 - 1410, 2007.

[6] Sumrerng Jugjai, "High efficiency heat-recirculating domestic gas burners", Experimental Thermal and Fluid Science 26, pp. 581 - 592, 2002.

[7] Jae Uk Ahn, "An experimental Study on Thermal Efficiency Characteristics with Propane-DME Mixture Ratio for Residential Gas Range", KIGAS, Vol. 12. No. 3. September. 2008.