

가정용 가스 냉난방기용 연소기의 성능개선 연구

윤영석* · 유현석* · 김태한* · 이종성* · 한정옥*

Enhancement of Burner Performance of Household Gas Fired Absorption Chiller/Heaters

Young-Seok Yoon, Hyun-Seok You, Tae-Han Kim, Joong-Seong Lee, Jeong-Ok Han

Key Words : Gas Fired Absorption Chiller/Heater, (가스흡수식 냉난방기), High Temperature Generator(고온재생기), Busen Slit Burner(분젠 스톱 버너), Partial Premixed Flame(부분예혼합화염), Blow Off Limit(불어날림 한계), Yellow Tip Limit(황염 한계)

Abstract

In order to enhance the burner performance of household gas fired absorption chiller/heaters, the operating condition(excess air $\approx 10\%$) of the burner currently being used was required to be optimized. In this regard, we examined where the CO_{min} emission limit was located between blow off and yellow tip limit and how much amount of excess air was exhausted by means of observing blow off and yellow tip limit. It was found that the CO_{min} limit(excess air $\approx 4\%$) was determined near the yellow tip limit. The effect of exhaust pressure on the CO_{min} limit was that, if exhaust pressure was higher than that in steady condition, higher air blower fan rpm is demanded to maintain the CO_{min} limit. Therefore, it was necessary to optimize the operating condition of burner in terms of a thermal efficiency and safety.

1. 서론

여름철 peak 전력문제, 천연가스의 동하절기 TDR 문제, CFC 규제 등으로 가스흡수식 냉난방기의 보급환경은 원숙

단계에 있다. 그러나 이러한 냉난방기의 보급은 산업용이나 업무용과 같은 30RT 이상으로 편중되어 있으므로 가정용과 같은 소형 냉난방기에 대한 개발이 필요하다.

가스흡수식 냉난방기를 가정용으로

* 한국가스공사 연구개발원

개발하기 위해서는 시스템의 소형화가 절대적으로 이루어져야 하며 이를 위해서는 구성 핵심요소를 중심으로 최적화 및 효율향상이 요구되며 이중 시스템 사이클에 열원을 공급하기 위해 고온재생기에 분젠 슬릿 버너가 사용되고 있다. 이러한 밀폐식 분젠 연소방식은 과잉공기가 10%($\lambda=1.9$)로 열효율이 매우 낮은 상태로 운전되고 있으며 이는 역풍등에 의한 과대 부압을 위한 안전 factor 를 고려한 것이나, 이에 대한 기본 데이터를 통한 명확한 근거는 미비한 실정이다.

또한 이러한 분젠 슬릿 버너는 가정용 온수기 및 보일러 등 그 응용 범위가 광범위하나 분젠화염에 대한 기초적 연구^{[1][2][3][4]}는 많이 이루어지고 있으나, 실제 적용에 필요한 데이터^{[5][6]}는 부족한 실정이다. 즉 공기의 유동특성 및 1,2 차 공기와 연료의 혼합 및 내부유동장 변화의 정확한 예측 없이는 형상변화가 용이하지 않아 시스템에 따라 적용, 응용하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 1.5/3RT 급 가정용 수냉식 가스흡수식 냉온수기 연소기에 대한 성능개선 및 체계적 실험 데이터를 통한 연소기의 최적운전조건을 결정하고자 한다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 실험방법

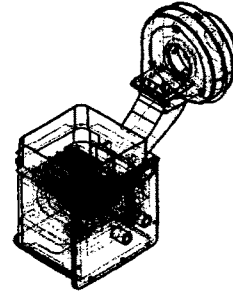
분젠식 슬릿버너의 성능특성을 파악하기 위하여 부하와 공기비에 따른 화염안정도 및 배가스분석을 수행하였다. 부하와 공기비조절은 연료라인에 설치된 비례제어 밸브와 송풍기의 회전수를 이용하여 조절하였고 부하를 일정하게 유지한 상태에서 송풍기의 회전수를 변

화시켜가며 **blow off limit** 와 **yellow tip limit** 를 목적에 의해 측정했다. 실제 조건과 모사시키기 위하여 밀폐된 조건에서 관찰창을 통해 결정하였으며 배가스 분석은 연도출구에서 측정하였다.

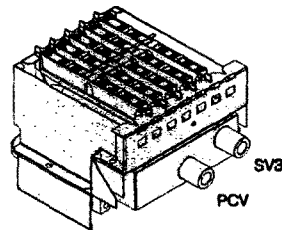
실제 운전을 위한 연소조건을 파악하기 위하여 연도 출구 단면적을 감소시켜 실험결과를 검증하였다.

2.2 실험장치

현재 실용화된 가스공급장치인 비례제어 밸브는 TDR 이 1:3 이나 국내 계절특성상 난방부하를 고려할 때 TDR 은 1:4 이상이 되어야 한다. 따라서 비례제어 밸브 후단에 ON-OFF 밸브(SV3)를 설치하여 저부하시에는 SV3 를 잠그고 5 열로 구성된 버너 노즐 중 3 열에만 연료를 공급하였다. Fig.1 에 실험용 버너의 개략도가 나타나 있다.



(a) Assembly diagram of burner and air blower



(b) Schematic diagram of slit nozzle

Fig.1 Schematic diagram of burner

전체구조는 5 열로 구성되어 있으며 열당 29 개의 슬릿(0.75 x 5mm)이 설치되어 있으며 가스-공기의 혼합방식은 송풍기에 의한 강제혼합방식으로 벤츄리 튜브내 노즐에서 분사되는 연료와 일부 공기가 1 차 예혼합이 되어 슬릿으로 분출되고 나머지 공기는 균일한 유속분포를 얻기 위해 다공판을 거쳐 열사이를 통과하여 미연가스와 2 차연소된다.

연소된 고온의 배가스는 전열부에 열을 전달한 후 배가스 출구로 배출된다. 이때 열교환기의 열매체는 상온의 물을 사용하였다.

배가스 측정은 bench type 의 IR 분석기(SIEMENS Oxyamat 5E, Ultramat 22P)를 사용하였으며 배가스 측정위치는 고온이 아니므로 채취부에 대한 냉각을 하지 않았다.

3. 실험결과

실험에 사용된 가스비례제어 밸브의 유량특성이 Fig.2 에 나타나 있다.

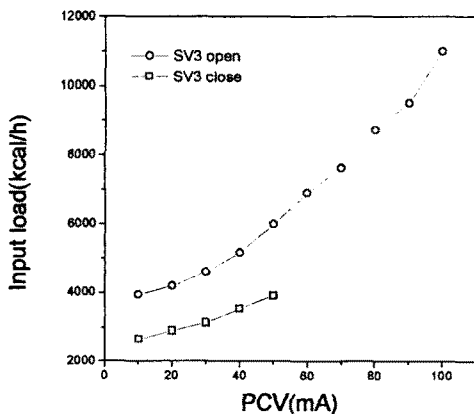


Fig.2 Control characteristics of input load of proportional control valve

그림에서 볼 수 있듯이 SV3 밸브의 설치로 TDR 이 약 1:4 (2,500~11,000 kcal/h)이상으로 증대되었다.

분젠식 슬릿버너의 연소특성도 및 배출특성이 Fig.3 과 Table 1 에 나타나 있다.

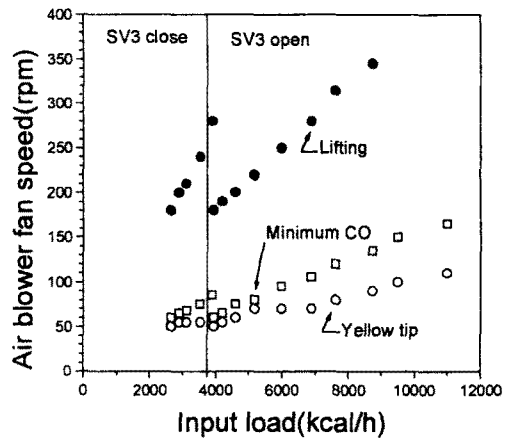


Fig.3 Characteristics of flame stability of Bunsen slit burner

Table 1 Exhaust gas concentrations of lifting and CO_{min.} limit

	SV3 close		SV3 open	
	O ₂ (%)	CO (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)
Lifting	18	45	16	125
Min. CO	10	0	5.5	0

전체적인 경향은 lifting 과 yellow tip 사이에서 CO_{min.} 배출이 나타났고 그 위치는 yellow tip 에서 가깝게 나타났다. 이는 분젠연소가 전일차식과 달리 연소에 필요한 공기의 40~60%만이 예혼합되므로 공급공기의 유량이 많아지면 2 차 연소에 의해 연소반응이 영향을 받기때문으로 판단된다. 따라서 열효율과 최적 연소조건을 고려한다면 CO_{min.} 값이 적절하나 yellow tip 에 근접하였기

때문에 역풍과 같은 환경을 고려한다면 연소운전 제어값은 상향조정 되어야 할 것이다.

또한, on-off 밸브인 SV3의 개폐에 따라 화염안정한계곡선이 불연속을 나타내고 있다. 이는 2.2 절에서 설명한 것처럼 저부하시(SV3 off) 중심부 3열에만 화염이 형성되므로 나머지 2열부분에서 생성되는 dead volume으로 인해 2차 연소특성이 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. Lifting 특성을 보면 SV3 close가 유리하며 이는 공급공기의 유량이 증가하여도 dead volume의 생성으로 화염이 존재하는 노즐 3열선단에서 2차 연소용 공기의 상대적 유속저하로 화염 시작점이 이론공연비를 유지하여 lifting의 한계가 넓게 나타나는 것이며, 최적 연소조건인 경우 SV3 open이 유리한데 이는 dead volume이 제거되어 전열(5열)에서 원활한 2차연소가 이루어지기 때문으로 판단된다. 따라서 TDR을 1:4로 만족시키기 위해서는 불연속 지점에서 적절한 연소제어값의 선택이 필요하겠다.

Fig. 4는 최적연소조건(CO_{min})의 과잉공기비를 낮추기 위하여 1차연소용 공기량을 증가시켜 1차 예혼합율을 높인 결과이다. 이를 위해 연료노즐 메뉴플더를 벤츄리 입구에서 기존위치보다 3mm 더 띄워서 1차공기를 더 유입하도록 개조하였다.

연소특성도의 결과를 보면 Fig.3의 결과와 비교해 볼 때 전체적으로 한계영역이 하향 되었음을 알 수 있으며 이는 연소용 공기의 공급이 저감될 수 있음을 나타내는 것이다. Table 2의 배가스 분석결과를 보면 최적연소조건(CO_{min})의 과잉공기가 Table 1과 비교하여 약 30% 감소하였으며 이는 열효율 측

면에서 유리한 결과이다. 이러한 결과는 1차 예혼합율을 높인 결과이다.

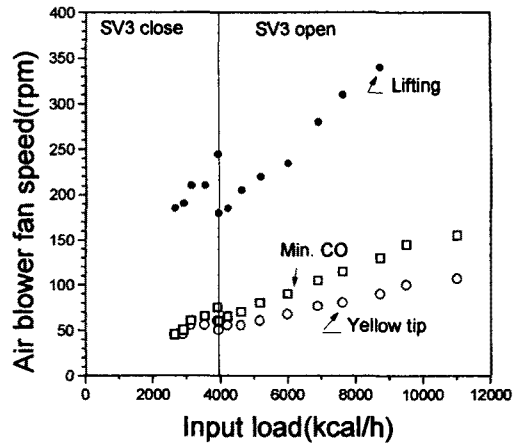


Fig.4 Characteristics of flame stability of modified Bunsen slit burner

Table 2 Exhaust gas concentrations of lifting and CO_{min} limit of modified Bunsen slit burner

	SV3 close		SV3 open	
	O ₂ (%)	CO (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)
Lifting	17	50	17	120
Min. CO	8	0	4	0

이상의 실험결과를 보면 CO_{min}경계와 yellow tip 경계가 근접되어 있다. 이는 운전조건을 CO_{min} 경계로 설정하면 역풍과 같은 환경적 영향을 받게 될 때 불완전연소를 초래하게 된다. 따라서 이러한 영향을 관찰하기 위해 배기가스 출구의 단면적을 감소시켜 연소특성도를 관찰하였고 그 결과가 Fig.5에 나타났다.

배기가스 출구 단면적 감소로 인한 배압발생은 송풍기의 송출유량에 영향을 미치므로 정상상태와 같은 유량을 공급하기 위해서는 팬의 회전수는 증가

되어야 함을 알 수 있다. 이때 최대 연도내압은 약 0.45mmH₂O 로 매우 낮았으므로 8mmH₂O 정도의 내압을 유발하는 실제 환경을 고려한 데이터를 얻으려면 역풍 공급에 의한 실험결과가 필요하였다.

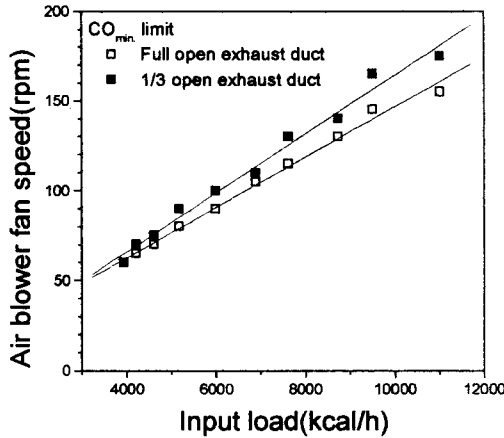


Fig.5 Difference of CO_{min} limit by the variation of back-pressure in combustor

4. 결론

- (1) 분철회염과 같은 부분예혼합연소방식이 연소실내에서 연소될 경우, 2차 연소상태는 버너의 연소효율에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- (2) 연소특성도의 결과를 보면 최적연소조건(CO_{min})이 황염한계와 근접되어 있는 것을 알 수 있었으며 역풍과 같은 환경을 고려한다면 연소 제어값은 상향조정 되어야 할 것이다.
- (3) TDR 증대를 위해 설치한 SV3 밸브로 인해 저부하시 연소실 양 벽측으로 발생하는 dead volume 은 2

차연소를 저해하는 요인으로 나타났다.

- (4) 분철훈소방식에서 1차 공기량을 증대시키면 연소상태는 양호해지므로 버너 운전 공기비를 낮출 수 있다.
- (5) 연소실 출구의 배압발생은 송풍기의 송출유량에 영향을 미치는 것으로 나타났으므로 실제 환경을 고려한 배압발생에 따른 송출유량의 변화에 대한 데이터가 필요하겠다.

참고문헌

- (1) Wagner, Terrance C., 1985, "Bunsen flame hydrodynamics", *Combustion and Flame*, Vol.59, p267.
- (2) Mizomoto, Masahiko, 1991, "Burning intensity of inverted flame base", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part B*, Vol.57, No.534, p.729
- (3) Sung, C.J., 1992, "On the geometry and burning intensity of wrinkled premixed flames", *ALAA-92-0238*, p.1.
- (4) 本間 理陽司, 長谷耕志, 1995, "ブソゼソ火炎の NOx 生成機構に関する研究", *日本機械學會論文集(B 編)*, 61 卷, 583 號, p.1177.
- (5) S. Sogo, K. Hase, 1998, "Study of blowoff at a multiple slit burner", *TGC Annual Technical Report Digest*, Vol.8
- (6) Ashwin V. Rao, S. R. Gollahall, 1996, "Effects of venturi length on combustion characteristics of inshot burners", *IEEE*, p.2203