

산지별 천연가스의 화염 안정영역에 관한 실험적 연구

이창언* · 황철홍* · 홍성창** · 정영식*** · 유현석**** · 이승준**** · 허재영****

Experimental Study on the Flame Stable Region of Natural Gases from Various Producing Districts

Chang-Eon Lee, Cheol-Hong Hwang, Sung-Chang Hong, Young-Sik Jeong
Hyun-Seok You, Seung-Jun Lee and Jae-Young Her

ABSTRACT

In this study, the difference of flame stability zone for natural gases from producing districts was studied experimentally using a new type of flame stability diagram. The similarity of stable flame zone between a domestic appliance and an interchangeability test(IT) burner is also examined. As a result, the stable flame zones expressed by limits curves of flame lifting and yellow tipping show the similar results in a domestic gas range and IT burner. Furthermore, IT burner can reproduce the flash back phenomena and show the distinct difference of fuel type as the burner diameter is increased. To suggest the new type of flame stability diagram in the respect of fuel interchangeability, the air flowrate and Wobbe fuel flowrate were adopted as axis coordinates. It can be identified that the new diagram can provide the useful information on the difference of flame stability zone, heat input rate and air-fuel ratio when a fuel is altered to other fuels under the identical operating conditions. Finally, the stable flame zones for natural gas of 6 type are compared, and the detailed information to use as the interchangeability fuels of standard natural gas is provided using the new type of flame stability diagram.

Key Words : Flame stability, Flame stable region, Interchangeability, Natural gas

기 호 설 명

Alphabets		Greeks	
A	area (m^2)	Φ	Equivalence ratio
A/F	air-fuel ratio (kg_a/kg_f)	γ	relative specific gravity based on air
A/WF	Wobbe air-fuel ratio	ρ	density (kg/m^3)
HV	Heating value ($kcal/m^3$)	Subscripts	
P	Pressure (kpa)	a	air
Q	Volumetric flowrate (Nm^3/hr)	f	fuel
V	Velocity (m/s)	n	nozzle
WI	Wobbe index ($kcal/m^3$)	$stoi.$	Stoichiometric
		v	vessel
		Wf	Wobbe fuel

1. 서 론

* 인하대학교 기계공학과
** 인하대학교 대학원 기계공학과
*** 어코드 (주)
**** 한국가스공사 연구개발원
† chelee@inha.ac.kr

현재 우리나라에서 쓰이고 있는 도시가스는 조성이 거의 일정한 가스가 공급되고 있으나, 천연가스의 가격 및 수요증가에 대비하여 수입산지의

Table 1 The composition of natural gases with each producing districts

Component	SG	YG	AG	TG	BOG1	BOG2
CH ₄ (%)	90.09	93.49	87.06	91.64	100.00	93.23
C ₂ H ₆ (%)	6.04	5.08	8.40	1.93	0.00	0.03
C ₃ H ₆ (%)	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	6.60
C ₃ H ₈ (%)	2.54	1.16	3.48	5.65	0.00	0.11
iC ₄ H ₁₀ (%)	0.54	0.08	0.42	0.16	0.00	0.03
nC ₄ H ₁₀ (%)	0.58	0.11	0.54	0.10	0.00	0.00
iC ₅ H ₁₂ (%)	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
nC ₅ H ₁₂ (%)	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
N ₂ (%)	0.19	0.06	0.07	0.42	0.00	0.00

다변화가 요구되고 있다. 여러 산지의 천연가스는 국내에서 기존에 사용하는 표준가스와의 조성이 다르며, 이들 가스를 표준가스의 대체가스 혹은 표준가스와 혼합하여 공급할 경우에는 화염 안정성 및 오염물질 배출특성의 변화가 예상된다. 또 산업공정의 생산성, 열효율 및 내구성 등의 추가적인 변화를 초래할 수도 있다. 이러한 문제점을 검증하기 위해서는 도입 예상인 산지별 가스를 이용하여 연소특성에 민감한 연소기기 및 산업공정을 대상으로 가스 호환성에 대한 체계적인 검토가 요구된다.

천연가스의 성분 변화에 따른 호환성 판정법은 1900년대 초기부터 연구되기 시작하였으며, 이들 연구에서는 호환성을 판별하는 지수의 개발이 주요 관심사였다. 이 분야의 초기 연구는 주로 미국가스협회(American Gas Association, A.G.A.)에 의해 수행되었다. 이 결과를 바탕으로 A.G.A. 호환성 판정법[1]이 제시되었으며, 이 판정법에 불완전 연소지수를 추가한 Weaver 판정법[2] 제시되었다. 한편, 유럽에서는 가스의 호환성을 그림(Diagram)으로 제시하는 도식법(Graphic method)을 선호하였다. 이와 같은 방법으로는 Gilbert & Prigg(U.K), Holmqvist(Sweden) 및 Van der Linden(Holland) 등을 들 수 있다.[3, 4] 국내에서는 한국가스공사(KOGAS)의 천연가스 열량변동에 따른 연소성 평가시험[5], 천연가스의 열량 조절에 따른 호환성 관련 연구가 시도된 바 있다. 이와 같이 천연가스의 호환성 판정법에 대해 많은 방법이 제시되고 있으나, 연소설비마다 가스의 사용 조건, 연소기의 형태, 연소 방식 등이 다양하기 때문에 기존의 호환성 판정법을 이용하여 가스 호환성을 판단하는 것은 부족한 면이 있어 주위가 요구된다.

가스 종류에 따른 화염 안정성의 차이를 검토하는 가장 정확한 방법은 대상 연소기에서 직접 가스 종류를 변경하여 화염 안정영역을 비교하는 것이다. 그러나 천연가스가 사용되는 모든 기기 및 공정에 대한 검토는 시간 및 경제적인 측면에

서 많은 어려움이 존재한다. 따라서 가스 호환성에 대해 일반적인 특성을 검토하는 기초실험과 가스 종류에 민감한 실용기기를 대상으로 한 실험결과들을 이용하여, 가스 호환성에 대한 일반적인 특성을 도출할 필요가 있다. 이러한 배경하에 본 연구 그룹은 이전에 국내에서 도입산지로 검토되고 있는 대체가스를 대상으로 열물성치, 전달 물성치 및 연소와 관련한 여러 가지 정보를 구하여 이들을 정보를 체계화한 적이 있다.

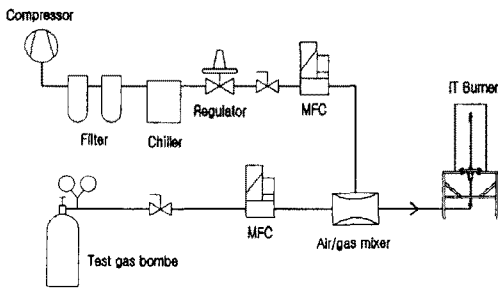
이러한 배경하에 본 연구에서는 실용 연소기기와 IT(Interchangeability Test) 버너에서 화염 안정영역의 유사성을 검토하여 IT 버너를 이용한 화염 안정영역에 대한 연구의 타당성을 검증하고자 한다. 또한 일반적으로 많이 사용되는 열발생율-당량비의 좌표로 표기된 화염 안정영역과 본 연구에서 제안하는 변환유량-공기량 좌표로 표기된 화염 안정영역을 비교 검토하여, 새롭게 제안된 화염 안정영역 표기법의 편리성에 대하여 검토하고자 한다. 그리고 이 새로운 좌표계로 표시된 화염 안정영역에 대한 실험결과를 이용하여 대체가스들의 호환성을 검토하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 Table 1에 제시한 6종의 가스를 대상으로 화염 안정영역을 구하였다. Table 1에서 SG(Standard gas)는 현재 대한민국에서 사용하고 있는 표준 도시가스를 의미한다. YG, AG, TG는 각 산지에서 생산되는 가스를 의미하며, 산지 명칭은 보안상 약칭으로 사용하였다. 그리고 BOG1은 LNG 저장탱크에서 발생하는 증발가스(Boil off gas)인 순수 메탄 성분의 가스이며, BOG2는 BOG1을 SG와 동일한 웨버지수를 갖도록 증열한 가스를 나타낸다. 이들 가스들은 8종의 탄화수소 성분과 불활성 물질인 N₂로 구성되어 있으며, 각 가스의 조성 비율은 Table 1에 제시하였다. 앞선 연구에서[6] 이들 6종 가스

Table 2 Relative difference of principal thermodynamic property on the basis of SG and maximum burning velocity

	YG	AG	TG	BOG1	BOG2	SG
Density (%)	-5.16	2.88	-0.14	-11.5	-0.84	0.8105 (kg/m ³)
Heating value (%)	-4.30	2.71	-0.46	-9.73	-0.47	10549.72 (kcal/m ³)
Wobbe index (%)	-1.73	1.26	-0.40	-4.06	-0.05	13324.87 (kcal/m ³)
Specific heat (%)	2.18	-1.23	0.02	5.57	0.63	2.0661 (J/g K)
(A/F)stoi. (%)	-4.29	2.68	-0.47	-9.69	-0.44	10.5415
Max. burning velocity (cm/s)	40.64	41.11	40.90	39.83	40.89	40.81

**Fig. 1** Schematic diagram of IT burner

에 대한 열/전달 물성치 및 연소와 관련한 공연비, 화염온도 및 연소속도 등을 검토하였으며, 그 주요 결과를 Table 2에 제시하였다. Table 2는 SG를 기준으로 대체가스들의 상대 차이를 나타낸 것으로, 이 결과에 의하면 대체가스 중 BOG1의 경우에는 SG에 비해 발열량 10%, 웨버지수 4% 및 공연비 10%, 비열 5.54% 정도 낮아지기 때문에 가스 호환성측면에서 충분한 검토가 요구된다. 그리고, 다른 대체가스는 SG에 비해 최대 상대 차이가 발열량 4%, 웨버지수 2% 및 공연비 4%, 비열 2.5% 범위 이내로 그 차이는 그리 크지는 않다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 IT 버너의 유로 시스템의 개략도를 도시한 것이다. 연료와 공기는 각각의 MFC(Mass flow Controller) 혹은 MFM(Mass flow meter)를 통해 유량 및 혼합비가 제어되고 Air/gas mixer에서 균일한 혼합기를 만든 후에 IT 버너로 공급된다. IT 버너는 그림과 같이 원통관(cylindrical tube)의 형태로, 내경은 6, 12mm 두 가지이며, 원통관 길이는 약 1m로 하여 노즐 출구에서 충분히 발달된 유속분포가 형성되도록 하였다. 화염 안정성 계측 시 외부 공기 흐름의 영향을 최소화하기 위해 노즐 외부에 직경 250mm의 파일렉스관을 설치하였다.

본 연구 대상인 6종 가스는 성분 차이가 미소하기 때문에 연료 조성 및 유량 제어에 각별한 정밀도가 요구된다. 실험용 가스는 95%, 신뢰 구간 $k=2$; $\pm 3\%$ 의 상대확장불확도를 갖는 가스를 표준과학연구원에서 주문 제작하여 사용하였다. 공기 및 연료의 계량에 사용한 MFC 및 MFM은 표준기술연구원에서 유량검증을 필한 독일 Ritter사의 습식 가스미터(TG10, Drum type)를 이용하여 유량 보정을 수행하였다.

IT 버너의 비화, 역화 및 노란불꽃영역 등의 화염 안정영역의 한계는 AGA flame code를 기준으로 판단하였다. 일반적으로 AGA code의 -3부터 +3까지를 양호한 화염으로 분류하고 있다.

3. 실험 결과

3.1 IT버너 및 변환좌표의 타당성 검토

Fig. 2는 가장 대표적인 가정용 연소기기인 가스레인지(린나이, RTR-C200A)에서의 SG 및 BOG1 가스의 화염 안정영역이 차이를 나타낸 것이다. 이 화염 안정영역은 기존에 주로 사용되는 방법인 x축에 열공급율과 y축에 당량비를 좌표로 도시한 것이다. 화염 안정영역은 당량비가 낮고 유량이 증가하면서 나타나는 부상 한계(Lifting flame limit), 당량비가 높고 유량이 증가하면서 화염 끝 부근에서 황염이 나타나기 시작하는 노란불꽃 한계(Yellow tip limit)의 내부 영역으로 정의된다. 단, 실용 가스레인지에서는 소염직경(Quenching distance)보다 작은 화염구를 사용하기 때문에 역화 한계는 관찰 되지 않는다. 본 그림과 같이 실용 가스기기를 대상으로 계측한 화염 안정영역을 이용하여 가스 종류에 따른 연료 호환성의 차이를 규명하는 데에는 다음에 기술한 바와 같이 몇 가지 불편한 점이 있다. 우선 실용 가스기기에서 화염 안정영역을 계측하기 위해서는 연료공급량 및 당량비 제어가

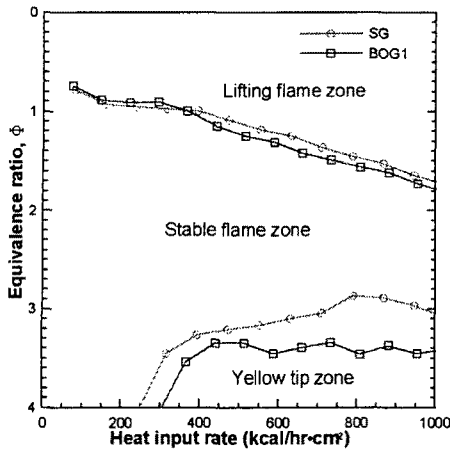
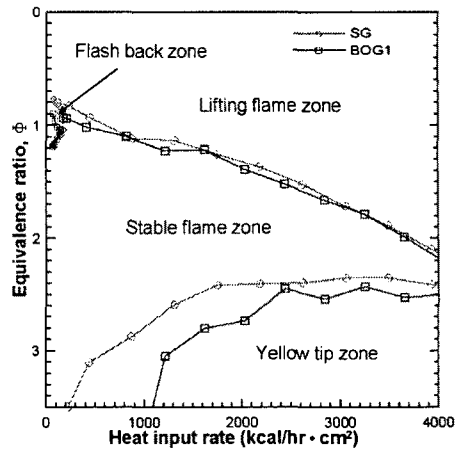


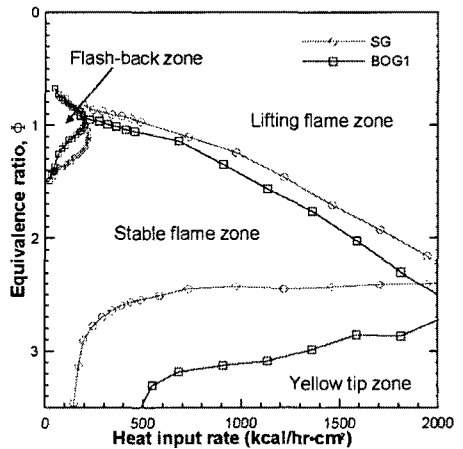
Fig. 2 Stable flame zones of SG and BOG1 on the gas-range

가능하도록 연료-공기 공급 장치를 변경하여야 한다. 그리고 한계영역을 판단함에 있어서 각 화염구에서의 화염 형상이 조금씩 다르기 때문에 계측치의 일관성에 다소 문제점이 있다. 그리고 노즐경이 작은 경우에는 역화 한계가 나타나지 않는다. 따라서 본 연구에서는 이들 문제점을 해결하기 위하여 IT 버너를 이용하여 가스 종류에 따른 화염 안정영역을 측정하고, 이를 바탕으로 연료 호환성을 논의하고자 한다.

Fig. 3은 노즐 내경이 각각 6mm(Fig. a), 12mm(Fig. b)인 IT버너에서 SG 및 BOG1의 화염 안정영역이 차이를 도시한 것이다. 두 그림에서 IT버너에서의 연료량 및 당량비 변화에 따른 부상 한계 및 노란불꽃 한계의 거동은 Fig. 2에 제시한 실용 가스레인지와 거의 유사하다. 그리고 본 IT버너에서는 실용 가스레인지에서 볼 수 없는 역화영역이 존재하며, 노즐직경이 커질수록 역화영역을 명확해짐을 알 수 있다. 또 노즐 직경이 증가할수록 가스 종류에 따른 부상 한계 및 노란불꽃 한계의 차이가 명확해 짐을 알 수 있다. 위 결과로부터 IT 버너의 화염 안정영역은 실용 가스기기에서의 안정성과 매우 유사하며, 제어가 용이한 IT 버너의 실험적 연구는 실용 연소 기기에서의 화염 안정화특성 규명에 유용한 정보를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다. 그리고 본 연구에서 검토하는 6종 가스는 성분 차이가 미소하기 때문에 이들 가스들의 화염 안정영역의 차이를 규명함에 있어서는 가능한 한 직경이 큰 IT버너를 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다. 단 직경이 너무 커지면 연료공급량이 많은 조건에서 화염길이가 너무 길어지기 때문에 본 연구에서는 내경 12mm 원통관을 갖는 IT버너를 사용하기로 하였다. 단, 노즐직경에 따른 각 한계 영역의 차이 및 이를 바탕으로 한 일반화된 화염



(a) Stable flame zone of IT burner with 6mm diameter



(b) Stable flame zone of IT burner with 12mm diameter

Fig. 3 Stable flame zones of SG and BOG1

안정영역에 대해서는 추후 연구를 수행하고자 한다.

위와 같이 화염 안정영역에 대한 기존의 그래프는 열발생율-당량비(혹은 공기비)의 좌표로 나타내고 있다.[7,8] 이 기존 그래프에서도 각 연료의 고유의 열발생율-당량비에 따른 화염 안정성의 차이를 제시할 수는 있다. 그러나, 실용적인 측면에서 동일한 연소시스템 및 운전조건에서 기존에 사용하던 가스를 다른 가스로 대체한 경우에는 공급되는 연료량 및 발열량이 달라지기 때문에 위 기존 stability diagram으로는 가스 호환시의 연료량, 열발생율(heat input rate), 공연비 및 화염 안정성 등의 변화에 대한 직접적인 정보를 제공하지 못한다. 위와 같은 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 가스 호환시의 연료량,

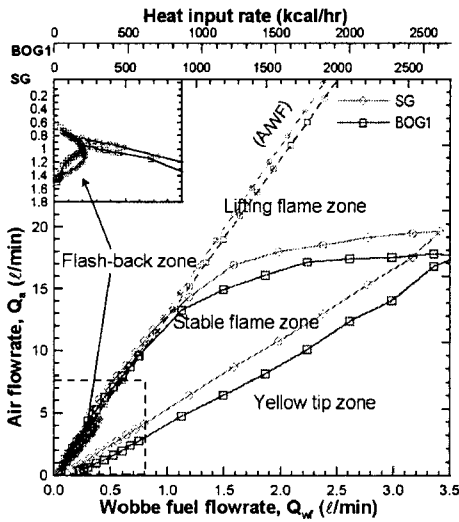


Fig. 4 Stable flame zones of SG and BOG1 in IT burner with 12mm diameter using transformed coordinate

열발생을, 공연비 및 화염 안정성을 동일 좌표축에서 직접적으로 비교 가능한 새로운 형태의 화염 안정성 그래프를 제안하고, 이 새로운 좌표계의 편리성에 대하여 검토하고자 한다. 이하에 새로운 좌표계의 유도과정 및 기존 가스를 다른 가스로 대체한 경우에 변경되는 정보를 해독하는 방법에 설명하고자 한다.

Fig. 4는 Fig. 3-b)와 동일한 조건의 화염 안정영역을 본 논문에서 제안하는 새로운 좌표계를 이용하여 도시한 것이다. 여기서 우선 본 좌표계의 유도과정 및 의미를 간략히 설명하겠다. 연료노즐 및 가스 공급압력이 동일한 조건에서 가스 종류에 따른 연료 공급유량은 아래 식(1)의 Bernoulli 방정식을 이용하면 식 (2)와 같이 구해진다. 가스 공급압력 및 연료노즐이 일정하다면 ($\Delta p = constant, A_n = constant$), 식 (3)에서 알 수 있듯이 가스 종류가 변하여도 각 가스의 공급유량에 비중의 제곱근을 곱한 변환유량($Q_f \times \sqrt{\gamma_f}$, 이하 Wobbe flow rate)은 항상 일정함을 알 수 있다. 즉 공급압력이 동일할 때 가스 종류에 상관없이 Wobbe 유량은 동일하며, 이를 화염 안정영역의 x축 좌표로 사용함으로써 가스를 교체한 경우의 공급 유량의 변화를 표현할 수 있게 된다. 상부 x축은 식 (4)와 같이 Wobbe 유량에 각 가스의 Wobbe 지수를 곱한 것으로 가스 호환시의 열공급율(heat input rate) (Q_H)의 변화를 나타낸다. 또 y축은 공기 유량(Q_a)을 나타내며, 분체(Bunsen)버너의 경우, 가스분사에 의해 유입되는 공기량(entrained air)은 가스의 운동량 즉 공급압력에 비례하기 때문에 가스 종류에 상관없

이 일정하다. 공급압력 변화에 따른 이들 Wobbe 유량 및 공기량은 본 논문에는 제시하지 않았으나 가스 종류에 관계없이 항상 동일한 값을 가짐을 확인하였다. 또 그림에 도시된 점선(A/WF)은 공기유량-Wobbe 유량의 비를 나타내는 것으로 식 (5)와 같이 각 연료의 이론 공기-연료비(stoichiometric air-fuel ratio)를 비중의 제곱근으로 나눈 것으로 밀도를 고려한 air-fuel ratio를 나타낸다.

$$\frac{V_v^2}{2} + \frac{p_v}{\rho_f} + gz = \frac{V_n^2}{2} + \frac{p_n}{\rho_f} + gz \quad (1)$$

$$Q_f = A_n \times V_n = A_n \sqrt{2\Delta p / \rho_f} \quad (2)$$

여기서

$$\Delta p = p_v - p_n$$

$$\begin{aligned} \sqrt{2\Delta p} &= \frac{Q_f \sqrt{\rho_f}}{A_n} = \frac{Q_f \sqrt{\rho_f / \rho_a} \sqrt{\rho_a}}{A_n} \\ &= \frac{Q_{WF} \sqrt{\rho_a}}{A_n} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$$Q_{WF} = Q_f \times \sqrt{\gamma_f}$$

$$\begin{aligned} Q_H &= Q_{WF} \times WI = Q_f \times \sqrt{\gamma_f} \cdot \frac{H_f}{\sqrt{\gamma_f}} \\ &= Q_f \times HV \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} (A/WF) &= \left(\frac{Q_a}{Q_{WF}} \right) = \left(\frac{Q_a}{Q_f} \right) / \sqrt{\gamma_f} \\ &= (A/F)_{stoi} / \sqrt{\gamma_f} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, 동일 조건의 화염 안정영역에 대해 기존의 좌표계로 도시한 Fig. 3-b)와 새로운 좌표계로 도시한 Fig. 4를 이용하여 새로운 좌표계의 장단점을 검토해 보겠다. 우선, 새로운 좌표계에서는 가스 종류에 관계없이 동일 공급압력조건에서는 Wobbe 유량 및 공기유량이 동일하기 때문에 좌표축 상 동일한 위치에서 가스간의 연소 특성을 비교할 수 있다. 예로, SG의 Wobbe 유량을 2(ℓ/min)로 공급하는 조건에서 SG를 BOG1 가스로 전환한 경우 BOG1의 Wobbe 유량도 동일한 2(ℓ/min)값을 가지기 때문에 동일한 x축 선상에서 안정영역을 비교할 수 있으며, 공급열량의 변화도 상부 x축의 값을 이용하여 바로 알 수 있다. 그러나 기존 좌표계에서는 공급되는 열량의 변화를 계산하여 각 가스의 공급 열량에서의 안정영역의 차이를 비교해야 한다. 그리고 SG를 BOG1으로 대체한 경우 유입되는 공기량은 SG의 연소에 적합하게 공기공급장치기 설정되어 있기 때문에 Fig. 4의 좌표계에서 보면 BOG1의 경우 별도의 공연비 조절을 하지 않은

경우에는 공연비가 다소 과다하게 공급될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3-b)의 기존 좌표계에서는 공급열량이 작은 경우에 당량비로 표시된 y축의 폭은 실제 연료-공기비를 이론연료-공기비로 무차원한 것이기 때문에 공기량이 무한대로 접근하면 당량비는 무한대로 커지면서 안정영역에 해당하는 폭이 매우 넓어 보이는 착시현상이 나타나나, Fig. 4의 새로운 좌표계에서 보면 이런 현상이 개선된다. 단 이 좌표계에서는 역화영역 부근은 공기-연료공급량이 매우 작은 영역에 위치하기 때문에 명확히 나타낼 수 없다는 불편함이 있으나, Fig. 4의 내부 위쪽에 표시한 바와 같이 열발생율-당량비 좌표로 도시하면 가스에 따른 역화 영역의 차이도 명확히 할 수 있다. 그리고 이 영역의 운전조건은 주로 예혼합 연소조건에서 사용되는 영역이기 때문에 좌표계로는 열발생율-당량비로 도시하는 것이 유리하다고 판단하였다.

3.2 6종 가스의 화염 안정영역 비교

위 결과로부터 가스의 호환성을 검증함에 있어서 IT 버너를 대상으로 호환가스의 밀도에 독립적인 변환유량(Wobbe 유량)-공기량 좌표로 표기된 화염 안정영역을 이용하여 대체가스들의 호환성을 검증하는 것은 실용적인 측면에서 매우 적합함을 알 수 있다. 본 절에서는 이 방법을 이용하여 구체적으로 SG와 5종의 대체가스들의 화염 안정영역을 비교함으로써, 각 대체가스의 안정영역의 차이를 검토하고자 한다.

먼저 Fig. 4는 SG와 BOG1의 화염 안정영역 차이를 비교한 것이다. Table 2에 제시한 바와 같이 BOG1은 물성에 있어 SG에 비해 발열량 및 공연비는 약 10% 낮고, 웨버지수는 약 4% 낮아지며, 최대연소속도는 1cm 작다. 먼저 역화와 부상 한계를 비교해 보면 이들 한계는 가스의 연소속도와 매우 밀접한 관계를 갖고 있어, BOG1의 역화에 의한 화염 불안정영역이 가장 작아지며 또 부상 한계도 더 적은 공기량에서 나타내는 것을 알 수 있다. 다음에 노란불꽃 발생으로 인한 안정영역 변화를 살펴보면, BOG1의 경우가 SG보다 공기량이 더 작은 영역에서 발생하여 노란불꽃 한계에 의한 화염 안정영역은 넓어지고 있다. 이는 BOG1의 성분이 순수 메탄이라서 SG에 비해 soot 발생율이 낮아지기 때문이다. 종합적으로 BOG1의 화염 안정영역은 공기량이 낮은 영역으로 이동하나, 화염 안정영역의 크기는 SG와 거의 일치한다. 따라서 BOG1을 대체가스로 사용한다면 공기량을 적절히 감소시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 SG와 AG, BOG2의 화염 안정영역

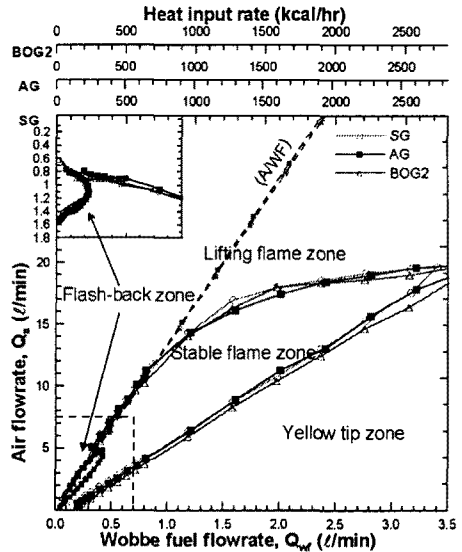


Fig. 5 Comparison with SG, AG and BOG2 for stable flame zone

차이를 비교한 것이다. Table 2에 제시한 바와 같이 BOG2는 모든 물성 및 연소 특성치가 SG의 값과 유사하며, AG는 발열량, 공연비는 약 2%, 웨버지수는 약 1.2% 높으나, 연소속도는 거의 동일하다. AG 및 BOG2의 연소속도가 거의 동일하기 때문에 역화 및 부상 한계도 SG와 거의 동일함을 알 수 있다. 그리고 노란불꽃 한계도 고탄화수소의 조성이 거의 동일하기 때문으로 거의 동일하게 나타난다. 이 결과로부터 AG와 BOG2를 대체가스로 사용한 경우는 호환성이 매

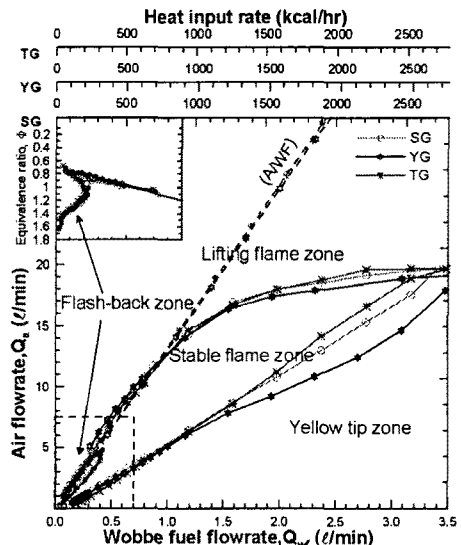


Fig. 6 Comparison with SG, YG and TG for stable flame zone

우 양호함을 알 수 있다.

Fig. 6은 SG와 YG, TG의 화염 안정영역 차이를 비교한 것이다. YG는 SG를 대상으로 물성을 비교하면 밀도에서 5%, 발열량과 이론 공연비에서는 4%정도의 차이를 보이며 연소속도의 차이는 거의 없다. TG는 모든 물성 및 연소 특성치에서 SG와의 차이가 0.5% 미만으로 거의 동일하다. 역화 및 부상 한계에서의 YG와 TG는 열발생율이 높은 경우에는 SG와 약간의 차이가 존재하나 전체적으로는 거의 동일한 것을 알 수 있다. 노란불꽃 한계에서 YG는 가스유량이 증가할수록 노란불꽃에 안정적인 경향이 나타나는데 이는 노란불꽃 발생에 많은 영향을 미치는 C_3H_8 등 고탄화수소의 함량이 적기 때문으로 사료된다. TG의 경우, 가스 유량이 많은 경우에는 SG보다 노란불꽃 한계가 나빠진다. 이는 Table 1의 조성에서 알 수 있듯이, TG가 C_3H_8 이상의 고탄화수소를 가장 많이 함유하고 있기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 실용 연소기와 IT버너에서 화염 안정영역의 유사성을 검토하고, 또 Wobbe 유량-공기량을 좌표로 하는 새로운 화염 안정성 그래프의 타당성을 검토하고, 이 새로운 좌표계를 이용하여 6종 가스의 호환성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. IT 버너와 실제 가스레인지에서의 화염 안정영역의 비교를 통해 IT 버너에서 얻어진 화염 안정영역으로 실용 연소기에서의 화염 안정특성을 논할 수 있음을 검증하였다.

2. 본 연구에서는 Wobbe 유량-공기량을 좌표로 하는 새로운 화염 안정영역의 도시법을 제안하였으며, 이 도시법은 동일 공급압력에서 연료만 교체한 경우의 열발생율, 공연비 등의 변화와 화염 안정영역의 차이를 직접적으로 제공할 수 있다.

3. 가스 종류에 따른 화염 안정영역의 차이는 다음과 같다.

1) AG, BOG2 및 YG는 SG와 매우 비슷한 화염 안정영역을 갖으며 대체가스로 사용시 가스 호환성이 매우 양호함을 알았다. 단 YG의 경우에는 노란불꽃 한계가 SG보다 안정적인 경향이 있다.

2) TG의 경우 노란불꽃 한계에서 약간의 차이가 나타나나 전체적으로 호환성이 양호함을 알 수 있다.

3) BOG1의 경우 SG에 비해 가장 많은 차이를 보이며 화염 안정영역은 전체적으로 낮은 공기량을 쪽으로 이동한다. BOG1을 대체가스로 사

용할 시에는 공기량을 적절히 감소시킬 필요가 있다.

후 기

본 연구는 한국가스공사의 연구과제인 “천연가스 조성변화에 따른 화염안정성 및 가스이용기기 연소 실증 용역”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] A.G.A Testing Laboratories, "Interchangeability of Other Gases with Natural gas", A.G.A Research Bulletin NO. 36, 1946
- [2] E. R. Weaver, "Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases", J. Research of the National Bureau Standards, Vol.46, No.3, 1951, pp. 213-245
- [3] Gilbert, M. G. and Prigg, J. A., "The Prediction for the combustion Characteristics of Town Gas", Trans Inst Gas Eng, 1956, pp. 530-589
- [4] William E. Liss, David M. Rue, Gas Technology Institute, "Natural Gas Composition and Fuel Quality", Gas technology Institute Information Report, 2005
- [5] KOGAS, "Investigation of Combustion Characteristics with Variations of LNG Heating Value", 1988.
- [6] Chang-Eon Lee, et al., "Study on the thermodynamic properties and combustion information of natural gases from various producing districts.", 2007.
- [7] A.G.A. Testing Laboratories, "Technical Background and Issues of Gas Interchangeability", A.G.A. Staff Paper, 2006
- [8] Gas Technology Institute, "Evaluating the Range of Interchangeability of Vaporized LNG and Natural Gas", Gas Research Institute Final Report, 2003
- [9] Chang-Eon Lee, et al., "An Experimental study on the flame stability of LFG and LFG-mixed fuels", *Fuel*, Vol. 86, 2007, pp. 649-655.
- [10] Rosemarie H. H. and Robert D. W., "AGA Bulletin #36 and Weaver Interchangeability Methods: Yesterday's Research and Today's Challenges", 2006.