

## 등가가스를 이용한 부분예혼합 가스기기의 호환성 판정법<sup>§</sup>

김종민\* · 이승로\* · 하영철\*\* · 이성민\*\* · 이창언\*\*

\* 인하대학교 기계공학과, \*\* 한국가스공사 연구개발원

### Estimation Method of the Interchangeability Using Equivalent Gases in a Partial Premixed Gas Appliance

Jong-min Kim\*, Seungro Lee\*, Young-cheol Ha\*\*, Sung-Min Lee\*\* and Chang-Eon Lee\*\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Inha Univ.,

\*\* Fluid Measurement Research Lab, R&D Division, Korea Gas Corporation

(Received December 31, 2009 ; Revised June 24, 2010 ; Accepted June 25, 2010)

**Key Words:** Equivalent Gas(등가가스), Interchangeability(호환성), Wobbe Index(웨버지수), Partial Premixed Gas Appliance(부분예혼합 가스기기)

**초록:** 본 연구는 등가가스를 이용하여 다양한 조성의 천연가스에 대한 부분예혼합 가스기기의 호환성 판정법을 실험을 통하여 검토 제시하였다. 본 판정법을 위해, 가정용 가스레인을 이용 등가가스와 천연가스의 화염을 비교 하였으며, 화염의 부상 및 불완전연소에 대해 측정을 하여 KS 규격과 비교하였다. 그 결과, 등가가스와 천연가스의 화염은 화염길이, 화염색, 화염모양 등의 차이가 거의 없었다. 또한 화염의 부상 발생은 웨버지수 51 MJ/m<sup>3</sup> 이상에서 안정함을 보였으며, 불완전 연소지수의 경우, 웨버지수 56.3 MJ/m<sup>3</sup>에서 CO 농도가 95~100 ppm 정도를 보여 주었다. 결과적으로 천연가스에 대한 화염의 부상과 불완전연소에 대해 호환 범위를 웨버지수 51~56.3 MJ/m<sup>3</sup>로 제안하였으며, 이 범위 내의 천연가스는 국내 가정용 부분예혼합 가스기기에 대해 호환 가능하다는 의미이다.

**Abstract:** The estimation method of the interchangeability in a partial premixed appliance about various compositions of natural gases using equivalent gases, experimentally. The results of the experiment in which equivalent gases were used compared with those obtained in experiments in which natural gases were used; Images of flames, lift-off limits, CO emissions, and incomplete combustion indices in KS standard for the domestic gas range were considered. From the comparison, it was observed that the length and color of the flame of the equivalent gases were almost the same as those of imported natural gases. Further, in the case of gases with Wobbe indices greater than 51 MJ/m<sup>3</sup>, the KS standard for lifting limits was satisfied. Furthermore, in the case of gases with Wobbe indices less than 56.3 MJ/m<sup>3</sup>, the CO mole fractions are in the range 95-100 ppm. Hence, the range of Wobbe indices 51-56.3 MJ/m<sup>3</sup> was proposed to be the range for interchangeability from the points of view of lifting limits and incomplete combustion, as prescribed in the domestic gas range in the case of imported natural gases.

### 1. 서론

천연가스는 석탄, 석유에 비해 대기오염물질과 온실가스 배출량이 적고, 배관을 통해 안정적으로 소비자에 공급되는 편리성 등으로 세계적으로 천연가스 공급과 사용을 확대하고 있는 추세이다. 우리나라에서도 1986년에 발전용 연료로 국내에 처음 도입된 후 1차 에너지원으로 매년 높은 성장률로 보

급되어 현재 1차 에너지 중 14%를 점유하고 있으며, 향후 2030년까지 계속적으로 증가하여 15.8%를 차지할 것으로 예상하고 있다.

현재 우리나라에서 공급되는 도시가스는 액화천연가스(LNG)를 사용하고 있어 조성이 거의 일정한 고급 천연가스라 할 수 있으나, 세계적으로 천연가스의 가격 및 수요증가에 대비하여 발열량, Wobbe 지수 등이 다소 낮은 저열량 천연가스, PNG 등의 수입산지 다변화가 요구되고 있다. 그리고 장기적으로는 석탄가스(Coal-bed methane), 매립지가스(Landfill gas)를 포함한 바이오가스(Bio-mass gas)들도 도시가스의 대체천연가스

§ 이 논문은 대한기계학회 2009년도 추계학술대회(2009. 11. 4.-6., 용평리조트) 발표논문임

† Corresponding Author, chelee@inha.ac.kr

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

(Substitutable natural gas)로 사용하려 시도되고 있다. 이들 대체천연가스들은 한국에서 사용되는 기존 도시가스와는 조성이 다르기 때문에 기존 도시가스와는 다른 연소특성을 갖게 된다.<sup>(1)</sup> 또한 이들을 도시가스로 사용할 경우에는 고급 천연가스들을 대상으로 개발된 국내 가스기기에서 화염 안정성에 차이가 발생하며, 산업공정의 열효율, 공해물질 및 내구성 등에서도 변화를 초래할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

가스연료의 호환성이란 동일한 가스 공급 조건에서 화염안정성, 성능, 공해물질 배출특성 등에서의 차이가 허용 범위 이내인 가스를 기존가와 호환성 있다고 정의하며, 호환 가능한 가스의 범위를 연료 물성 혹은 연소특성지수를 이용하여 제시하는 것을 호환성 판정법이라 한다. 천연가스의 성분 변화에 따른 호환성 판정법은 1900년대 초기부터 연구되기 시작하였으며, 현재 미국, 유럽, 일본, 호주 등에서는 각국 실정에 맞는 고유의 호환성 판정법이 사용되고 있다.<sup>(2-6)</sup> 그러나 이러한 각국의 현실과는 다르게 우리나라에서는 자체의 호환성 판정법이 존재하지 않고 있으며, 다른 나라에서 사용되고 있는 호환성 판정법들은 해당 국가의 가스 사용 이력(history)을 바탕으로 개발된 연소기기를 대상으로 실험적으로 구해진 것이기 때문에, 이들 호환성 판정법을 우리나라에서의 연소기기 사용 환경에서 동일하게 적용할 수 없다. 따라서 국내에서도 다양한 성분의 천연가스 및 재생가스들의 도입에 대비하여 한국의 가스 사용 환경에 적합한 독자적인 호환성 판정법 개발이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 다양한 성분의 천연가스에 대한 국내 환경에 적합한 부분예혼합 가스기기의 호환성 판정법을 제안하는데 목적이 있다. 이를 위해, 다양한 천연가스 성분을 단순하게 표현할 수 있는 등가가스 제조법과 가정에서 쉽게 접할 수 있는 가스레인을 통해 본래의 천연가와 등가가스의 화염을 비교하고, 등가가스를 이용해 화염의 부상 및 CO농도를 측정하여 KS규격<sup>(7,8)</sup>과 등가가스를 이용한 호환성 판정법<sup>(4,6)</sup>을 비교하여 국내 환경에서 적합한 부분예혼합 가스기기의 호환 가능 범위를 도출하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험 장치에 대한

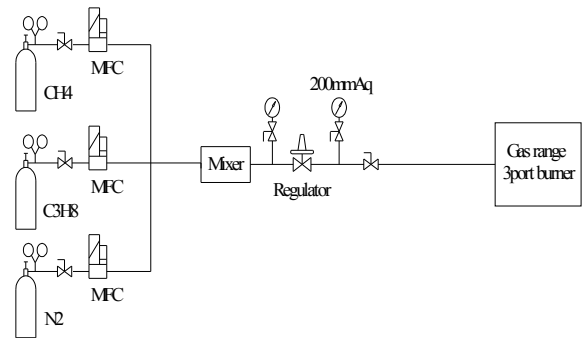


Fig. 1 Schematic of gas supply line

계략도이다. 그림과 같이 동일압력의 메탄, 프로판 및 질소를 MFC(Mass Flow Controller)에 공급하였으며, 이를 이용하여 필요 유량을 조절하였다. MFC를 통과한 가스들은 직접 제작한 혼합기를 통과한 후 Regulator를 이용하여 200 mmAq의 압력으로 가정용 가스레인지로 공급하였다. 혼합된 가스의 성분은 분석의뢰를 통해 공인 검증 받았으며, 혼합된 가스의 유량은 변환유량 방식<sup>(9)</sup>을 이용하여 계산 공급하였다. 변환유량 방식은 국내에서 사용하는 표준가스가 공급되는 유량을 기준으로, 압력을 동일하게 하였을 때 대체 가스의 유량을 수식을 통해 쉽게 계산할 수 있다. 가스레인은 가정용 3구 가스레인을 이용하였으며, 디지털 카메라를 이용하여 화염사진을 촬영하였다. 화염의 부상 및 배기가스의 배출농도는 KS규격<sup>(7,8)</sup>에 있는 방법과 동일하게 표준냄비를 이용하여 측정하였으며, 화염 부상의 경우에는 표준냄비가 없는 경우에도 실험을 진행하였으며, 배출농도의 측정은 Land사의 Lancom III를 이용하여 CO농도와 CO2의 농도를 측정하였다.

## 3. 등가가스를 이용한 호환성 판정법

등가가스<sup>(4)</sup>란 포화탄화수소(alkane)가 주성분인 가스를, 주요 물성(발열량, 웨버지수, 압축인자, 몰수, 연소속도 등)이 거의 동일하도록 메탄, 프로판, 질소, 수소 성분으로 환산한 가스를 말한다. 포화탄화수소는 등가 메탄과 등가 프로판으로 분해하는 것이 가능하며, 탄소 및 수소 원자수가 같도록 식 (1)과 같이 계산한다.

$$C_nH_{2n+2} = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(n-2) \right] CH_4 + \frac{1}{2}(n-1) C_3H_8 \quad (1)$$

**Table 1** The result of equivalent gas analysis

	메탄	프로판	질소	웨버지수
목표 조성	89.89 (mol %)	6.06 (mol %)	4.04 (mol %)	52.74 (MJ/m <sup>3</sup> )
제어 유량	5.34 (L/min)	0.36 (L/min)	0.24 (L/min)	-
분석값	90.34 (mol %)	5.49 (mol %)	4.13 (mol %)	52.47 (MJ/m <sup>3</sup> )
오차율	0.50 (%)	9.41 (%)	2.23 (%)	0.51 (%)

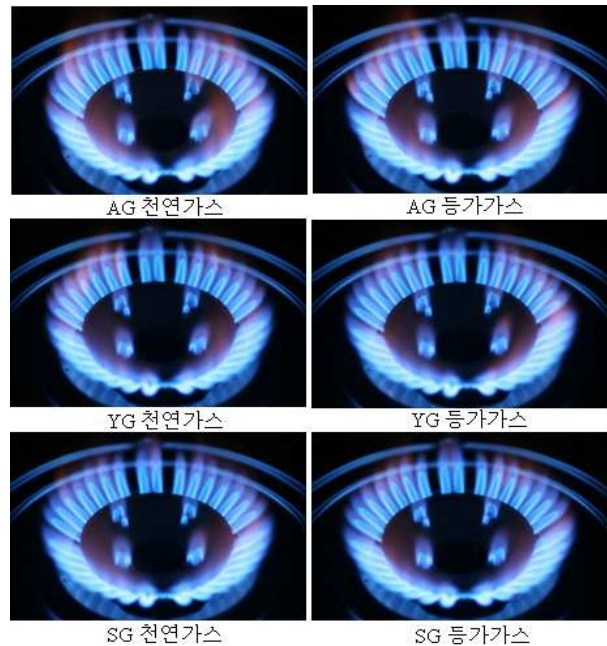
올레핀(alkene)의 경우 메탄과 프로판으로 분해하면 분해 후의 몰수가 0이 되는 문제가 있지만 가스내 올레핀 함량이 미량인 경우 포화탄화수소에 준하여 분해한다. 그리고 불활성 가스류는 웨버지수가 동일하도록 질소로 모두 환산하고 수소는 원가스의 함량을 그대로 사용한다. 한편, 천연가스와 같이 수소 성분이 없는 경우에는 등가의 메탄, 프로판, 질소로만 나타낼 수 있으므로 본 연구에서는 수소를 제외한 3개의 등가성분만 고려하였다.

실험에서 사용하는 등가가스가 정확히 제조되었는지 확인하기 위하여, 혼합기를 통과해 만들어진 등가가스를 분석기관에 의뢰하여 조성분석을 하였다. Table 1은 임의 조제한 등가가스의 조성 분석 결과를 나타내는 것으로, Table에서 보는 바와 같이 목표 조성을 임의 조제한 결과 메탄, 프로판, 질소의 오차율이 각각 0.50 %, 9.41 %, 2.23 %를 보였으며, 목표조성의 웨버지수와 약 0.51 %의 차이를 보였다. 프로판의 분석 결과에서 다소의 큰 오차가 발생하였으나, 제어된 양이 작아 그 오차가 크게 나타난 것으로 판단되며, 혼합기를 이용하여 제조한 가스와 목표 조성 가스의 웨버지수가 0.51 %, 본 Table에는 표기를 생략하였지만, 발열량, 비중 등이 1% 미만의 차이를 보이기 때문에 실험에 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

Fig. 2는 가스레인을 이용하여 천연가스와 등가가스의 화염을 촬영한 사진이다. 천연가스와 등가가스의 화염을 비교하기 위해 Table 2의 성분을 가진 AG, YG, SG의 천연가스와 각 천연가스의 성분을 이용하여 등가가스를 제조하여 화염을 비교하였다. Fig. 2와 같이 실제 천연가스와

**Table 2** Composition of 3 natural gases and equivalent gases with each producing districts

산지성분	AG	YG	SG
CH <sub>4</sub>	87.06	93.49	92.26
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8.40	5.08	4.87
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3.48	1.16	1.87
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.42	0.08	0.37
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.54	0.11	0.42
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.02	0.01	0.01
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.01	0.01	-
N <sub>2</sub>	0.07	0.06	0.20
CO <sub>2</sub>	-	-	-
등가가스 성분	AG	YG	SG
CH <sub>4</sub>	90.78	95.94	94.31
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	9.18	4.02	5.51
N <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.18



**Fig. 2** Comparison between natural gas flames and equivalent gas flames with 3port gas-range

이를 대체하는 등가가스의 화염모양, 길이, 화염색 등에서 차이가 거의 없는 것을 알 수 있다.

등가가스를 이용한 호환성 판정법에는 영국의 Dutton diagram과 호주의 S diagram이 있는데, 이 호환성 판정법들은 X축은 각각 프로판과 질소의 mol % 합(이하 PN)과 비중으로, Y축을 웨버지수

로 표현하였다. 두 호환성 판정법에서 각각의 지수들은 실험을 통하여 결정하였으며, 수식 및 각 지수들에 대한 웨버지수 및 발열량을 정하여 호환 가능한 범위를 선정하였다. 하지만 두 호환성 판정법을 우리나라에 그대로 적용하기에는 발열량 기준이 다를 뿐 아니라 같은 가스레인을 사용하더라도 우리나라에 환경에 맞게 연소기를 제작하기 때문에 동일하게 적용할 수 없다. 따라서 두 가지 호환성 판정법을 국내에 적용하기 위해서는 우선 우리나라에서 현재 사용하고 있는 발열량 기준인 연소 15℃, 부피 0℃ 일 때의 기준으로 해야 하며, 국내 가스기기를 이용한 실험을 통하여 새로운 한계선을 정해야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 실험결과

##### 4.1 화염의 부상

가스레인지 화염에서 화염의 부상에 대한 실험 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 냄비를 올려놓았을 때, 두 번째로는 냄비를 올려놓지 않았을 때로 구분이 되는데, 화염 부상의 발생량 및 발생유무는 육안으로 판정한다. KS 규격에서 리프팅의 규정은 ‘규격냄비를 올려놓았을 때 화염부상이 발생하지 않아야 한다.’ 라고 규정<sup>(8)</sup>하고 있으나, 실질적으로 냄비를 올려놓았을 때 웨버 지수가 낮은 가스로 대체하여도 화염 부상이 발생하는 일이 거의 없어 기업에서는 자체적으로 화염 부상에 대한 기준을 선정하여 화염 부상에 대한 판단을 하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 사용하고 있는 3구 가스레인을 이용하여 KS 규격이 만족하는 범위에서 화염 부상 기준을 선정하여, 부상의 발생 정도를 확인하고 가스레인지용 천연가스의 한계 범위, 즉 호환 범위를 규정하였다.

Fig. 3은 가스호환성 판정을 위한 화염의 부상 기준을 사진으로 나타낸 것으로, 화염 부상 지수 0은 부상이 전혀 발생하지 않는 화염을, 1은 부상이 발생하기 시작하는 화염을, 2, 3, 4는 각각 화염의 부상이 전체의 1/8 이하, 1/4 이하, 1/4 이상인 화염을 나타낸다. 본 연구에서는 0~3의 화염까지를 호환 가능한 범위로 규정을 하였으며, 4번 이상의 화염은 호환이 불가능한 화염으로 판정을 하였다. 0~4의 화염은 냄비를 올려놓았을 경우 화염 부상이 전혀 발생하지 않았기 때문에

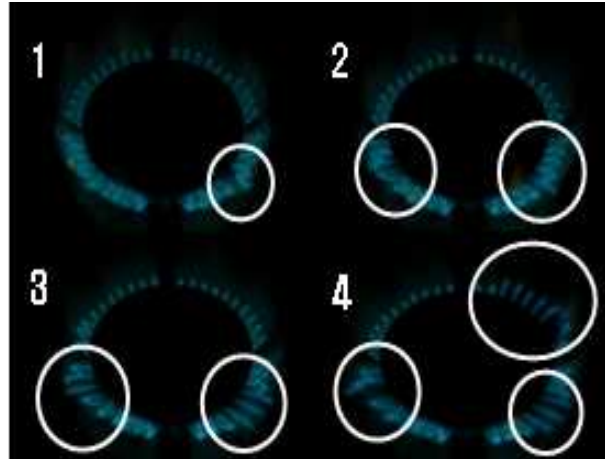


Fig. 3 Criteria of flame lifting

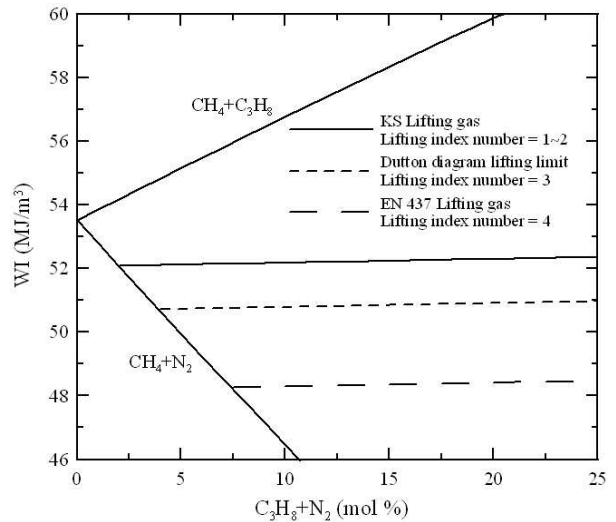


Fig. 4 Experimental result of flame lifting

0~3의 화염기준에 만족하면 KS규격과 본 연구의 화염 부상 기준에 만족하는 화염으로 KS규격보다 더 엄격한 안전한 범위라고 할 수 있다.

Fig. 4는 Dutton diagram에 KS규격의 부상이 잘 되는 가스, Dutton diagram의 부상지수 1에 해당하는 가스 그리고 EN437의 부상가스와 동일한 부상지수를 가지는 천연가스들에 대한 화염부상 실험 결과를 웨버지수와 관련하여 표시한 것으로, 이들 천연가스들에 해당하는 등가가스들을 제조하여 화염 부상 발생량을 관찰하였다.

KS규격에서 사용하는 부상이 잘되는 가스(CH<sub>4</sub> 98 %, N<sub>2</sub> 2 %)와 동일한 부상 지수의 화염들을 비교하였을 때, 부상 발생량은 화염 부상 기준으로 1~2의 사이의 화염을 보여주었다. 즉 웨버지수가 약 52 MJ/m<sup>3</sup>이상의 천연가스에서 화염의 부상이 발생하나 호환 가능범위임을 알 수 있다.

다음은 Dutton diagram에서 한계선으로 규정한 부상지수의 가스들로 웨버지수 약 51 MJ/m<sup>3</sup>의 가스들의 화염의 부상을 살펴보았다. 그 결과 부상기준으로 3에 해당하는 화염 부상이 발생하였다. 마지막으로 EN437의 부상 가스에 해당되는 화염 부상 지수인 웨버지수 약 48 MJ/m<sup>3</sup>의 경우, 전체적으로 1/4이상의 부상이 발생하는 4이상의 화염이 발생하여 KS규격에는 만족하나 화염 부상 기준에는 만족하지 못함을 확인할 수 있었다. 결론적으로 우리나라에서 사용하는 가스레인지의 화염 부상은 Dutton diagram의 리프팅지수 1과 동일한 웨버지수 약 51 MJ/m<sup>3</sup> 이상을 가지는 천연가스가 화염 부상에서 안정적인 호환 가능 범위를 알 수 있다.

4.2 불완전연소

가스레인지에서 불완전연소에 관한 CO농도 측정은 KS 규격 측정 방법에 따랐다. 측정범위는 웨버지수 약 40~60 MJ/m<sup>3</sup>로 하였으며, 프로판과 질소의 비율의 합은 20 mol%까지 하였다. KS규격의 불완전연소에 대한 기준은 ‘이론 건조 연소 가스 중의 CO농도가 0.14% 이하’라고 표기하고 있으며,<sup>(8)</sup> 이론 건조 연소가스 중의 CO농도(%)는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$CO = CO_a \times \frac{CO_{2max}}{CO_{2a} - CO_{2t}} \quad (2)$$

여기서, CO<sub>a</sub>는 건조 연소 가스 중의 CO농도 측정값(%)을 CO<sub>2max</sub>는 이론 건조 연소가스 중의 CO<sub>2</sub> 농도(%)를, CO<sub>2a</sub>와 CO<sub>2t</sub>는 건조 연소가스 중의 CO<sub>2</sub> 농도 측정값(%)과 통내 분위기 중의 CO<sub>2</sub> 농도 측정값(%)을 나타낸다.

Table 3은 다양한 웨버지수에 따른 측정된 CO 농도와 이를 이용하여 KS 규격의 이론 건조 연소가스 중의 CO농도로 환산한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. Table 3에 제시된 바와 같이 웨버지수가 증가할수록 CO의 측정 농도 및 이론 건조 연소가스중의 CO농도 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 한편 웨버지수 55.8 MJ/m<sup>3</sup>은 현재 사용되고 있는 도시가스를 나타내는 것으로, 이때의 CO 농도는 약 90 ppm으로 측정되었으며, 이를 이론 건조 연소가스 중의 CO농도로 나타내면 0.039%로 가스레인지의 KS규격 0.14%에 비해 크게 낮음을 알 수 있다. 또한 웨버지수 약 59.4

Table 2 Concentration of Measured CO and theoretical CO with dry base with Wobbe indices

웨버지수 (MJ/m <sup>3</sup> )	측정 CO 농도 (ppm)	이론 건조 연소가스 중의 CO 농도 (%)
55.8	90	0.039
56.3	95	0.040
57.2	110	0.047
58.0	130	0.056
58.7	150	0.065
59.4	190	0.081

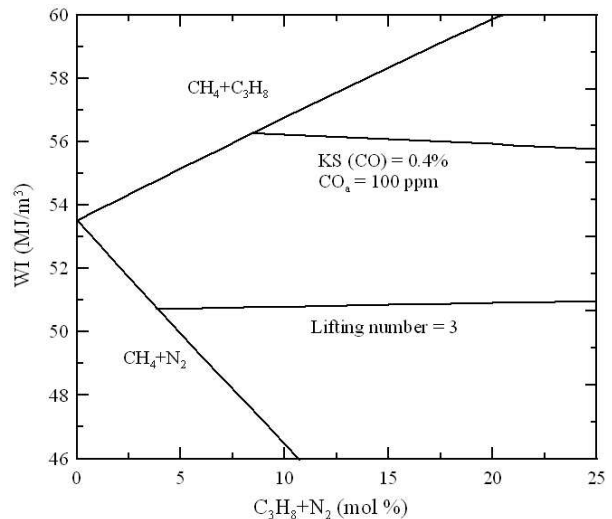


Fig. 5 Possible upper and lower limits of Wobbe Indices for the interchangeable natural gas

MJ/m<sup>3</sup>에서도 이론 건조 연소가스중의 CO농도는 0.081%로 KS규격에 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 실제 측정되는 CO의 배출농도는 약 190 ppm으로 상당히 많은 양의 CO농도가 배출되는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 화염의 부상과 불완전 연소의 한계선

KS규격과 현재 우리나라에서 사용되고 있는 도시가스 그리고 실험 결과를 고려하여, 웨버 지수의 상한선과 하한선을 Dutton diagram과 같이 X축을 PN, Y축을 웨버 지수로 하여 그래프로 표현을 하면 Fig. 5와 같다. 먼저, 웨버 지수의 하한선을 나타내는 화염 부상의 경우는 전체 화염의 1/4이하에서 화염이 발생하는 약 51 MJ/m<sup>3</sup>에서 그 한계선이 결정되었다. 웨버 지수의 상한선을 나타내는 불완전연소의 경우 약 56.3 MJ/m<sup>3</sup>보다 작은 범위에서 100 ppm 이내의 CO농도를 보이는

데, 추후 CO농도에 대한 규제 강화와 저열량 천연가스가 도입되는 것을 고려할 때 그 한계선으로 적절할 것으로 판단된다. 결과적으로 웨버지수 51~56.3 MJ/m<sup>3</sup> 범위에서 상한선과 하한선을 결정하였으며, 이 범위내의 천연가스는 현재 우리나라에서 사용되고 있는 가스레인지의 호환 가능 범위에 있음을 판단 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 다양한 천연가스의 성분을 대체 할 수 있는 등가가스와 부분예혼합기인 가스레인을 이용하여, 화염 부상 및 불완전연소에 해당하는 CO 농도를 측정하여 호환성 판정법에 사용되는 Dutton diagram에 적용하여 그 호환 가능 범위를 선정하였다.

(1) 현재 사용되고 있는 천연가스를 등가가스로 대체하여 화염을 비교하였을 때 화염 모양, 화염 길이, 화염색등의 차이가 거의 없었으며, 등가가스를 이용한 연구 방법에 문제가 없음을 알았다.

(2) 화염 부상에 대해 실험한 결과 웨버지수 약 51 MJ/m<sup>3</sup> 이상의 가스에서는 KS규격을 만족하며 부상 지수 3이내에 속해 안정적이며 호환 가능함을 알 수 있었다.

(3) 불완전연소에 대한 CO 및 CO<sub>2</sub>를 측정한 결과 웨버지수 56.3 MJ/m<sup>3</sup>이하의 가스에서 KS규격을 만족하고, CO농도 등의 규제가 강화되는 것을 고려할 때 한계선으로 적절할 것으로 판단된다.

(4) 결과적으로 현재 우리나라에서 사용하는 가스레인은 웨버지수 51~56.3 MJ/m<sup>3</sup> 범위의 천연가스에서 화염의 부상 및 불완전연소에 대해 호환 가능 범위라고 할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 한국가스공사 대학협력과제의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Kim, H. T. and Lee, S. R., 1999, "A Study on the Combustion Characteristics of Fuel Gas and Their Interchangeability," *Energy Engineering, J.*, Vol. 8, No. 1, pp. 174~180.
- (2) AGA Testing Laboratories, 1946, "Interchangeability of Other Gases with Natural Gas," AGA Research Bulletin NO. 36.
- (3) Weaver, E. R., 1951, "Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases," *J. Research of the National Bureau of Standards*, Vol. 46, No. 3, pp. 213~245.
- (4) Dutton, B. C., 1984, "A New Dimension to Gas Interchangeability," The Institution of Gas Engineers, Communication 1246.
- (5) Gilbert, M. G. and Prigg, J. A., 1951, "The Prediction of the Combustion Characteristics of Town Gas," *Tans. Inst. Gas Eng.*, pp. 530~589.
- (6) Economic Regulation Authority, 2007, "Gas Exchangeability in Western Australia."
- (7) Korean Agency for Technology and Standards, 2007, "KS B 8101-Test Methods of Gas Burning Appliances."
- (8) Korean Agency for Technology and Standards, 2008, "KS B 8114-Gas Range."
- (9) Lee, C. E., Hwang, C. H. and Hong, S. C., 2008, "Proposal and Validation of a New Type of Flame Stability Diagram for Partially Premixed Flames," *Fuel*, Vol. 87, pp. 3687~3693.