〈응용논문〉 DOI:10.3795/KSME-B.2011.35.4.439 ISSN 1226-4881

새 가스그룹의 가스기기 시험가스

하영철*† · 김성민**· 이창언***·최경석****
* 한국가스공사 연구개발원, ** 에너지기기시험원, *** 인하대학교 기계공학과, **** 한국가스안전공사

Test Gases for Gas Burning Appliances of New Gas Group

Young-Cheol Ha*†, Sung-Min Kim**, and Chang-Eon Lee***and Kyoung-Seok Choi****
* Gas Quality and Flow Measurement Lab, R&D Division, Korea Gas Corporation,
** Energy Appliance Testing Institute,
*** Dept. of Mechanical Engineering, Inha Univ.
**** Appliances Research Department, Korea Gas Safety Corporation

(Received December 24, 2010 ; Revised January 18, 2011 ; Accepted January 18, 2011)

Key Words: Test Gases(시험가스), Limit Gas(한계 가스), Gas Appliance(가스연소기기), 13A Gas Group(13A 가스그룹), 5156 Gas Group(5156 가스그룹), KSB 8101

초록: 새 가스그룹의 가스기기 호환성 시험가스 결정을 위해 현 13A 가스그룹의 시험가스와 13A 가스기기의 가스호환성(효율 포함) 관계를 실험적으로 규명하였다. 이 시험결과로부터 새 가스그룹의 불완전연소 및 화염 부상 한계 가스는 각각 새 가스그룹의 웨버지수 상한보다 2 % 크고, 하한 보다는 1 % 작은 값이 적정함을 알 수 있었다. 또한 효율 시험용 R 가스의 조성은 메탄 96 mol %와 프로판 4 mol %가 가장 적정하며, 일반 효율 시험시에는 공급 천연가스도 R가스로 사용될 수 있음을 확인하였다. 그리고 역화 한계 가스 내 수소 농도는 기존 30 vol %에서 EN437과 같이 23 vol %로 낮출 수 있는 것으로 분석되었다.

Abstract: To determine the test gases for gas appliances of new gas group, the interrelation between gas interchangeability, including thermal efficiency, of 13A gas appliances and present 13A test gases was experimentally investigated. The test results show that the Wobbe indices in the case of incomplete combustion and the flame lifting limit gas for the new gas group are respectively 2% higher than the upper limit and 1% lower than the lower limit of the Wobbe index range. The most suitable composition of R gas is 96 mol% of methane and 4 mol% of propane; LNG could be also used as R gas. Further, analysis results showed that the hydrogen concentration of flash back limit gas could be lowered from 30 vol% to 23 vol%.

1. 서 론

2000년대 중반부터 우리나라도 도입되는 신규 계약 LNG(Liquefied Natural Gas)의 발열량이 크게 낮아지고 있으며 향후에는 37.8 MJ/Nm^3(9500 kcal/Nm^3)을 밑도는 shale LNG, CBM(Coal Bed Methane) LNG도 대량으로 도입될 예정에 있다. 그런데 이러한 저열량 LNG 조차도 중·장기적으로는 수급에 차질이 있을 것으로 전망되고 있어서 극동지역의 중·저열량 PNG(Pipeline Natural Gas)뿐만 아니라 동시베리아 지역의 극저열량 PNG도 장기적으로는 도입을 고려해야 할 시점이다.

† Corresponding Author, fractals@kogas.or.kr
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

이러한 중·장기적인 천연가스 수급문제 때문에 지난 3년간 정부 주도로 5개 연구기관이 참여하는 '중장기 천연가스 열량 및 품질제도 연구(06.9~09.6),[1]가 수행되었으며 그 결과 국가품질기준의 웨버지수 범위가 52.6 ~ 56.5 MJ/Nm^3 (12550~13500 kcal/Nm^3)로 결정되었다. 이는 중·단기적으로 충분한 웨버지수 범위이나 기존 13A 가스그룹의 웨버지수(JIS 기준 12600~13800 kcal/Nm^3)를 거의 그대로 채용한 것이고 향후 러시아 PNG를 수용하기에는 웨버지수 하한값이 다소 높다. 이에 따라 13A 가스그룹을 대체할 새 가스그룹(가칭 5156 가스그룹)이 제안되었고 웨버지수 범위는 Fig. 1과 같이 러시아 PNG를 포함할 수 있는 51.5~56.5 MJ/Nm^3(12300~13500 kcal/Nm^3)

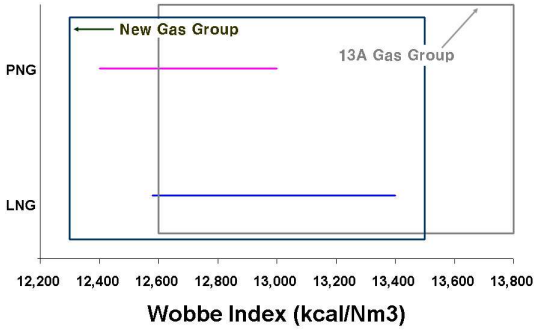


Fig.1 Comparison of Wobbe index range between new gas group and 13A gas group

이 제안되었다.[1]

조성이 LNG와 크게 차이나는 PNG나 극저열량(정확히는 저웨버지수)의 PNG를 도입하기 위해서는 국내 가스연소기기(이하 가스기기)의 가스호환성 범위가 저열량 쪽으로 충분히 넓어야 하는데, 일본 JIS를 근간으로 한 국내 가스기기 인프라(기기 제조, 호환성 시험방법, 광범위하게 보급된 가스기기)는 고열량 쪽으로 치우쳐 있어서 현재로서는 저열량 PNG 도입이 사실상 불가능하다.

가스기기 인프라를 저열량쪽으로 변경하기 위한 핵심 과제는 가정/업소용 가스기기의 가스호환성 범위 변경이다. 가정용 가스기기의 경우, 제한된 수의 발전/차량/산업용 가스기기와 달리 수백만대가 보급되어 있어서 기기 조정이 물리적으로 불가능하며 가스호환성 변경에 소요되는 기간이, 기기의 자연 교체 기간인 십 수 년이 소요되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 향후 10~15년 이후에는 극저열량의 러시아 PNG도 도입할 수 있도록 가정/업소용 가스기기의 가스호환성 시험가스인 KSB 8101[2]의 13A-1, 2, 3, R을 새 가스그룹에 맞게 개정하여 이후 생산되는 가스기기의 호환성 범위를 저열량 쪽으로 변경하고자 하였다.

새 가스그룹의 가스기기 시험가스 결정을 위해 현 KSB 8101의 13A-1, 2, R 가스와 상용 13A 가스기기의 가스호환성 및 효율 상관 관계를 실험적으로 규명하였고 이를 토대로 새 가스그룹의 가스기기 시험 가스를 도출하였다.

2. 시험 가스 개정 항목

2.1 현 KSB 8101 시험가스 검토

Table 1은 KSB 8101의 연소기기 시험가스 중 개정이 필요한 항목만 나타낸 것이다. 13A-1, 2, 3은 각각 불완전 연소, 역화, 화염 부상의 한계를 시험하는 가스를 나타내며 R은 성능(주로 효율) 시험용 가스이다. R가스의 조성은 과거 10년간 공급된 천연가스의 평균조성을 나타내며 실제 시험에서는 Table 1의 가스 조성과 약간의 차이가 있는 현 공급 천연가스가 쓰인다.

Table 1 The present test gases of KSB 8101

	No	Composition (vol %)					WI (kcal/Nm^3)	MCP
		H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	N_2		
13A	1		85.0		15.0		13900	37.7
	2	30.	55.0	15.0	15.0		13120	46.5
	3		98.0			2.0	12470	35.6
	R		89.7	6.7	2.6	1.0	13400	36.9

13A-1, 3번 가스의 웨버지수는 13A 가스 웨버지수 범위 52.75~57.78 MJN/m^3 (12600~13800 kcal/Nm^3)의 상·하한과 약 1 % 정도 마진이 있는 값으로 이 시험 가스를 통과한 가스기기는 13A 웨버지수 범위에서 불완전 연소와 화염 부상을 발생하지 않는다는 것이다(최대 연소속도지수(MCP)는 거의 문제가 되지 않음). 그런데 시험가스 1 % 마진의 근거는 우리나라 문헌에서는 찾아볼 수 없고 일본자료에서도 추적이 거의 되지 않고 있다.

13A-2번 가스의 수소 농도는 30 vol %로서 EN(European Standard) 437[3]에 비해 7 vol %나 높다. 우리나라 도시가스 종류 중 수소 농도가 가장 높은 것은 나프타 부생가스인데 이 가스 내 수소 농도도 8 vol % 내외에 불과하므로 수소 농도에 대한 재검토가 필요하다.

13A-R 가스의 경우 기존에는 공급 천연가스의 웨버지수 변동 폭이 0.4 % 이내로 매우 균일했기 때문에 공급가스를 그대로 사용해도 문제가 없었지만 2012년 1월부터는 다소 큰 폭의 발열량 변동을 허용하는 열량거래제가 도입되므로 현재와 같이 공급가스를 R가스로 사용하는 문제에 대한 검토가 필요하다.

2.2 시험가스 개정시 고려 사항

2.1절에서 언급한 개정 항목 외에 정부의 EN 부합화 정책 등 개정시 고려해야할 사항을 나열하면 다음과 같다.

1) EN 437[3]의 기준과 가능한 범위 내에서 부합되도록 할 것

2) 발열량, 웨버지수의 연소/부피 기준 온도는 기존 0/0 ℃에서15/15 ℃로 변경

3) 가스조성은 기존 부피 농도에서 몰 농도로 변경

여기서 2)번 조건이 포함된 이유는, 우리나라와 유럽, 북미의 발열량 기준조건이 달라 동일 연소기기에 대한 효율이 다르게 표기되는 문제가 있기 때문이며, 3)번 항은 가스의 조성이 현재 거의 대부분 몰 농도로 분석되기 때문에 부피 농도 표기의 실효성이 없기 때문이다.

3. 실 험

3.1 실험방법 및 장치

Fig. 2는 현 KSB 8101의 13A-1, 3, R가스와 13A 연소기기 호환성 간의 상관관계를 확인하기 위한 실험 장치의 개략도이다. 실험 대상 가스기기는 Table 2에 나타낸 바와 같이 총 10종으로 연소방식, 웨버지수 민감도, 보급율, 급배기 방식을 고려하여 선정한 것이다.

실험에 필요한 다양한 조성의 혼합 가스를 만들기 위해 순도 99.95 %의 메탄, 프로판, 질소가 사용되었다. 이들 가스는 실험가스 제조기에 공급되고 제조기에서는 세팅된 조성에 맞는 혼합가스를 정확히 제조한다. 혼합 가스는 압력조절기를 통해 필요 압력으로 감압되어 시험 대상 가스기기로 유입된다. 혼합가스의 조성은 GC(Gas chromatography, Horiba PG250)를 이용하여 수시로 확인하고, 가스기기의 열효율은 기기별 KS 규격에 따라 불확도 0.34 ~ 0.68 % 포인트 수준으로 측정하였다. 화염안정성 확인을 위해 보일러와 같이 화염이 보이지 않는 기기의 경우 가시화창(운모 재질)을 만들어 확인하였으며 배기가스는 가스분석기(Testo 340)를 이용하여 O_2, CO, CO_2, NO_x의 농도를 측정하고 이론 건조 연소가스 중의 농도값으로 환산하였다. 주위 환경 조건에 따른 실험 불확도를 줄이기 위해 시험실 온도는 22 ± 3℃로 , 습도는 59 ± 3 %를 유지하였으며 연료와 공기의 온도는 일치시켰다. 그리고 실험은 웨버지수 범위 48~59.5 MJ/Nm^{3}와 비중 범위 0.55~0.75에 대하여 수행하였다.

본 실험에서 실제 가스 조성 대신 메탄, 프로판 및 질소로 구성된 등가가스를 사용한 이유는, 8~14가지에 이르는 실제 가스의 조성 조합이 극히 많아 이를 실험에 모두 반영하는 것이 물리적으로 불가능하고 또 모든 포화탄화수소 가스(불활성가스 일부 포함)는, 연소 측면에서 등가의 메탄, 프로판, 질소로 변환 가능하다는 것이 Dutton과 Kim[4,5]의해 이론 및 실험적으로 증명되었기 때문이다. Table 3은 전형적인 LNG 조성과 등가가스의 발열량, 연소속도 지수를 계산한 것인데 차이가 -0.01 %, 0 %임을 알 수 있으며 모든 LNG에 대해서도 이 수준의 차이만을 나타낸다. 다만, PNG의 경우는 이산화탄소 농도에 따라 0.2 %까지 차이가 날 수 있다.

Table 2 The list of gas burning appliances for test

Item	Burner type	Quantity
Gas hot water boiler	Partially premixed	2
Condensing gas hot water boiler	Premixed	2
	Partially premixed	2
Gas over range	Partially premixed	2
Gas rice cooker	Partially premixed	2

Table 3 Comparison of superior calorific value and MCP between typical LNG and the equivalent gas mixture

	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	iC_4H_{10}	nC_4H_{10}	N_2	Calorific value (MJ/m^3)	MCP
LNG	90.9	6.0	2.1	0.4	0.4	0.2	43.579	36.8
Equi.gas	93.52		6.30			0.18	43.574	36.8
Deviation(%)							-0.01	0.0

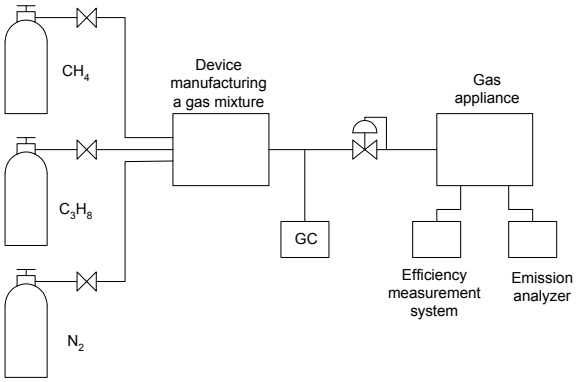


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system

4. 결과 및 고찰

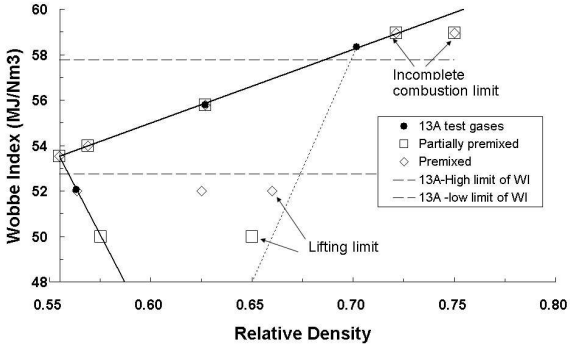
4.1 13A-1, 3번 가스의 적정성

Fig. 3은 13A-1, 3, R 시험가스와 13A 연소기기

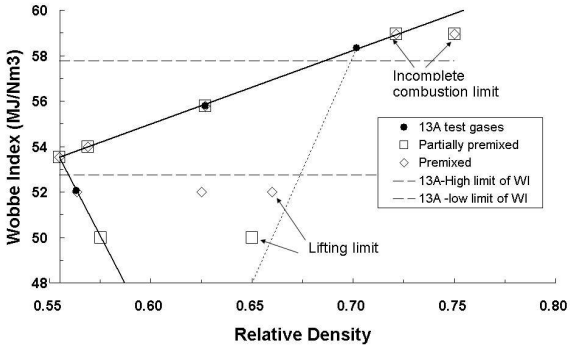
의 가스 호환성 영역을 나타낸 것이다. 이 도표는 가스 호환성 판정법 중 하나인 S-Diagram[6]형태의 도표로서 현재 지경부 과제 '열량제도 시행연구('09.12~'11.6)'에서 개발하고 있는 천연가스 호환성 판정도표의 기본 형태이다. 그림에서 비중 0.55에서 시작하는 위쪽 사선은 불활성가스가 없는 포화탄화수소(≒LNG) 라인을, 아래쪽 사선은 메탄+질소 라인을 나타내며 이 두 라인 왼쪽으로는 천연가스가 존재하지 않는 영역이다. 가스 내 불활성 가스 함량 높아짐에 따라 이 두 사선 오른쪽으로 가스가 이동하게 되며 그림의 점선 까지가 LNG 및 H-gas 그룹[3]의 PNG가 존재하는 영역이 된다. 그림에서 13A 시험 가스를 제외한 데이터 점은 예혼합 및 부분예혼합 가스기기 시험 데이터 중 가스 호환성이 가장 좁은 기기의 값을 도시한 것으로서 각 점을 연결하면 부분예혼합과 예혼합 가스기기의 가스 호환성 영역이 된다.

Fig. 3(a)는 불완전연소 한계를 KS가 허용하는 일산화탄소 농도 한계(조건에 따라 0.1~ 0.28 %)까지 나타낸 것이며, Fig. 3(b)는 R가스를 기준으로 일산화탄소 및 질소산화물의 농도가 1.5 배가 되는 영역까지를 불완전연소 한계로 나타낸 것이다. 현 KS 규정대신, R가스를 기준으로 불완전연소 한계를 선정한 이유는, KS의 일산화탄소 허용 값이 너무 높고 향후 질소산화물의 농도 규제가 예상되기 때문에 이에 대한 적정한 제한 조건이 필요했기 때문이다. 이러한 방법으로 불완전연소 한계를 설정할 경우 일산화탄소 최대 농도는 0.1 % 미만으로 제한되는데 상기 방식은 80년대 이후 개발된 국외 호환성 판정법에서 쓰이고 있는 불완전연소 한계 판별 방법이기도 하다.[4,6] 그리고 화염 부상 한계는 부상 '있음/없음'으로 구별하여 나타낸 것이다.

그림을 살펴보면 부분예혼합 연소기기의 부상 한계가 예혼합에 비해 크게 넓은 것을 알 수 있는데 예혼합의 경우 화염 부상 한계가 13A-3 가스의 웨버지수와 거의 일치하는 것에 반해 부분예혼합 가스 기기의 경우 약 4 %(13A-3번 가스 기준) 아래쪽까지 확장된 것을 볼 수 있다. 반면 불완전 연소 한계는 부분예혼합이나 예혼합 가스기기 모두 거의 동일한 것을 볼 수 있다. 불완전연소 한계는 현행 KS를 따를 경우 Fig. 3(a)에 나타낸 바와 같이 59.0 MJ/Nm^{3}로 볼 수 있으나 향



(a) According to CO limit of present KS



(b) According to new interchangeability prediction method of 13A gas

Fig. 3 Relation between test gas 13A-1, 3 and gas interchangeability of 13A gas appliances

후 질소산화물 규제와 더 안전한 일산화탄소 농도를 고려하면 Fig. 3(b)의 57.9 MJ/Nm^{3}가 적정할 것으로 판단되며 이는 정부과제 '열량제도 시행연구'에서 개발되고 있는 가스호환성 판정법의 안이기도 하다. 이를 고려하면 13A 가스기기 웨버지수 범위는 52.0~57.9 MJ/Nm^{3}가 되며 13A 가스그룹 웨버지수 범위인 52.75~57.78 MJ/Nm^{3}을 포함하게 된다. 그런데 통상적인 연소 조건은, 본 실험 조건과 달리 가스와 공기의 온도가 다르며 버너 입구 근방에서 가스와 공기가 예열이 되더라도 이 온도차는 대체로 4~5 ℃(착화시 제외) 정도는 나게 된다. 가스 웨버지수가 13A 가스 상한 값(57.78 MJ/Nm^3)인 경우 상기와 같이 가스 온도가 공기보다 4~5 ℃ 낮다면 공연비를 고려한 실질 웨버지수는 58.34 MJ/Nm^3(1 ℃ 차이 당 약 0.2 % 변화)이 되어 불완전 연소 한계라인을 1 % 정도 벗어나게 된다. 이를 감안하면 불완전연소한계를 1 % 정도 위쪽으로 이동시킬 필요가 있으며 이를 위해서는 13A-1번 가스의 웨버지수

Table 4 Thermal efficiency of typical condensing boilers at points of Fig. 4

Burner type	R gas	Deviation (% point)				
	③	①	②	④	⑤	⑥
Partially premixed	83.2	+0.2	+0.2	-0.1	-0.7	-1.1
Premixed	86.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.1	-0.4

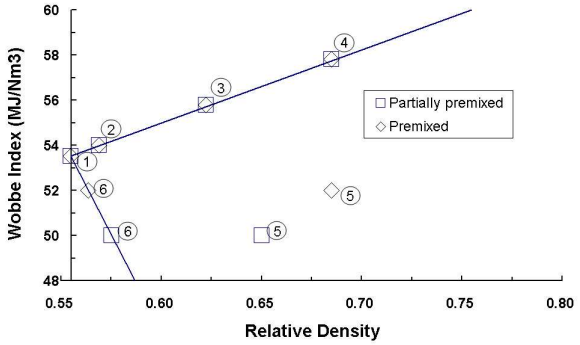


Fig. 4 Test points of thermal efficiency of gas appliances

가 기존 보다 1 % 정도 더 커야 함을 알 수 있다. 새 가스그룹은 기존 13A 가스그룹의 웨버지수 범위를 1.26 MJ/Nm^3(300 kcal/Nm^3)정도만 하향 조정한 것이므로 본 실험 결과를 그대로 준용할 수 있다고 판단할 수 있으며 이로부터 새 가스그룹의 1, 3번 시험 가스는 새 가스그룹의 웨버지수 범위(51.50~56.52 MJ/Nm^3) 상·하한값에 각각 2 %, 1 % 여유를 둔 57.7, 51.0 MJ/Nm^3 정도면 될 것이라고 판단할 수 있다.

4.2 13A-R 가스 검토

Table 4는 Fig. 4에 나타낸 각 점의 효율을 R가스(3번 점) 기준으로 편차를 나타낸 것이다. 대상 가스기기는 콘덴싱 보일러로서 가스기기의 효율이 기기 성능의 가장 중요한 지표이기 때문에 선정한 것이다. R가스를 기준으로 효율변화를 살펴보면, LNG 라인(비중 0.55에 시작하는 위쪽 사선)을 따라 저웨버지수 방향으로는 효율이 미미하게 감소하거나 약간 높아지는 것을 관찰할 수 있고 R가스 보다 높은 웨버지수에서는 두 기기 모두 효율이 다소 낮아지는 것을 관찰 할 수 있다. 그리고 화염부상 한계에서는 예혼합의 경우 0.1~0.4 % 포인트, 부분예혼합에서는 0.7~1.1 % 포인트 정도 효율이 낮아지는데 예혼합에 비해 부분예혼합의 효율이 크게 낮은 것은 R가스 대비 웨버지수 차이가 예혼합보다 크게 나는데서 비롯된 것으로 판단된다.

R 가스와 관련해서는 의미 있는 시험 점은 ①~④번으로서 LNG를 공급하는 우리나라에서 선택 가능한 R 범위가 이 범위로 제한되기 때문이다.(②는 새 공급규정의 최저 웨버지수). 2012년 1월부터는, 인위적인 발열량 증열(LPG 투입)을 하지 않는 열량거래제가 시행되므로 기존 R가스(③번)를 대체할 수 있는 시험가스 필요한데 상기 시험결과에 따르면 ①~④번까지의 열효률 변화가 거의 없으므로 기존 R가스인 ③번을 준용할 수도 있다. 그러나 2015년 이후 공급가스의 평균 웨버지수는 54.8 MJ/Nm^3(발열량 42.3 MJ/Nm^3) 내외로 수렴할 것으로 예상되므로[(1)] R 가스를 이 웨버지수의 값으로 변경할 필요가 있다. 이렇게 하면 2012년 열량거래제 시행 초기의 공급가스 웨버지수(55.3 MJ/Nm^3)와 약 1 % 차이만 나고 향후 극저열량의 PNG가 도입되더라도 평균 웨버지수는 54 MJ/Nm^3 (순간 웨버지수는 이 보다 크게 낮을 개연성도 있음) 정도로 추정되기 때문에 -1.5 %의 웨버지수 차이로 인한 기기 효율의 변화는 거의 없게 된다.

등가가스 이론을 적용하여 웨버지수 54.8 MJ/Nm^{3}에 해당하는 가스 조성을 도출하면 메탄 96 mol %, 프로판 4 mol % 가 된다. 이는 기존 R 가스 성분 수(Table 1참조)에 비해 2개 성분이나 감소한 것이다. R가스를 기존과 달리 2개 성분으로 단순화 시킨 이유는, 1) 성분이 간단하여 시험가스 제조가 용이하고, 2) 시험 비용이 저렴하여 기기제작 단가를 낮출 수 있으며, 3) 효율등급에 민감한 가스기기의 형식 승인시 가스 조성 불확도로 인한 문제를 최소화 할 수 있기 때문이다. 다만 향후 상당 기간 동안은 ②번과 ③번 사이의 가스가 공급될 전망이므로 가스기기 형식 승인시험을 제외한 제작사의 가스기기 제조시에는 현행과 같이 공급가스를 R가스로 사용할 수 있을 것으로 보인다.

4.3 13A-2 검토

역화 한계 가스는 연소속도가 거의 일정한 LNG나 PNG와는 밀접한 관련이 없고, 도시가스사업법(2009)에 새로 포함된 석탄가스나 나프타 부생가스와 관련이 깊다.

유럽에서 사용되는 도시가스 중 수소 농도가

Table 5 Proposal for test gases of KSB 8101 on new gas group

	No	Composition (mol %)				WI (MJ/m^3)	MCP
		H_2	CH_4	C_3H_8	N_2		
5156	1		87.0	13.0		54.69 (57.72)	37.5
	2	23.0	66.0	11.0		51.34 (54.18)	44.1
	3		96.5		3.5	48.32 (50.99)	35.3
	R		96	4		51.97 (54.84)	36.5
		Supplied LNG could be used as R gas					

Reference temperature of combustion/volume 15/15℃(15/0 ℃)

가장 높은 가스는 오븐가스(oven gas)이며 수소 농도는 최대 10 vol %이다. 이는 우리나라 도시가스 중 수소 농도가 가장 높은 나프타 부생가스와 유사한 수준이다. 오븐 가스를 고려한 EN 437의 역화 가스의 수소 농도는 23 vol %로서 Table 1에 나타낸 13A-2에 비해 7 vol % 낮은 것을 알 수 있다. 역화 가스 내 수소 농도는 최대 연소속도지수(Maximum Combustion Potential, MCP) 결정짓는 인자인데 수소 농도 30 vol %에서 23 vol %로 하향 조정에 따른 MCP값 변화는 46.5에서 44.1이다. 천연가스의 MCP는 36~38, 이외 도시가스의 MCP는 35~41이므로 수소 농도를 23 vol %로 낮추더라도 문제가 없음을 알 수 있고 이는 정부의 EN 부합화 정책에도 부합되는 것이다. 다만 역화가스의 웨버지수는 해당 가스그룹 내에 들어와야 하므로 EN437과 달리 프로판이 일부 추가되어야 한다.

4.4 새 가스그룹의 시험가스

4.1~4.3절까지 고찰한 내용을 기초로 새 가스그룹의 가스기기 시험가스를 정리하면 Table 5와 같다. 여기서 웨버지수와 MCP값 계산은 각각 ISO 6976[7]과 KSB 8101에 따라 계산하였다. 표에서 웨버지수 값을 두 가지로 나타낸 이유는 현행 우리나라 발열량의 연소/부피 기준온도가 15/0 ℃ 이기 때문에 국제 연소시험 기준조건인 15/15 ℃로만 표기할 경우 혼란이 있을 수 있기 때문이다.

3. 결 론

새 가스그룹의 가스기기 호환성 시험가스 결정을 위해 현 13A 가스그룹의 시험가스와 상용 13A 가스기기의 가스호환성 및 효율 관계를 실험적으로 규명하였다. 이를 토대로 새 가스그룹의 가스기기 시험 가스를 도출하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 불완전연소 한계 가스는 새 가스그룹의 최고 웨버지수보다 2 % 정도 큰 값이 적정한 것으로 판단된다.

(2) 화염부상 한계 가스는 새 가스그룹의 최저 웨버지수보다 1 % 정도 작은 값이 적정한 것으로 확인되었다.

(3) R 가스는 메탄 96 %, 프로판 4 mol %의 가스가 가장 적정한 것으로 판단되며, 제작사 기기 생산시에는 공급가스도 R가스로 사용될 수 있음을 확인하였다.

(4) 역화 한계 가스 내 수소 농도는 EN437과 같이 23 vol %가 적정한 것으로 판단한다.

참고문헌

(1) Korea Ministry of Knowledge Economy, 2009, "A Study on the Mid and Long-Term System for Calorific Value Range and Quality of Natural Gas"

(2) Korean Agency for Technology and Standard, 2008, "KS B 8101-Test Method of Gas Burning Appliances."

(3) The European Committee for Standardization, 2003, "EN437:Test gases - Test Pressures - Appliance Categories," CEN, Brussels

(4) Dutton, B. C., 1984, "A New Dimension to Gas Interchangeability," The Institution of Gas Engineers, Communication 1246

(5) Kim, J., Lee, S, Ha, Y., Lee, S. and Lee, C., 2010, "Estimation Method of the Interchangeability Using Equivalent Gases in a Partial Premixed Gas Appliance," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 34, No. 8, pp. 761~766.

(6) Economic Regulation Authority, 2007, "Gas Exchangeability in Western Australia."

(7) International Organization for Standardization, 1995, "ISO 6976 : Natural Gas - Calculation of Calorific Values, Density, Relative Density and Wobbe Index from Composition," ISO, Geneva.