

13A 가스기기 새 가스호환성 판정법

하영철^{*†} · 박세종^{**} · 박원식^{**} · 최경석^{***} · 이창언^{****}

* 한국가스공사 연구개발원, ** 에너지기시기시험원, *** 한국가스안전공사, **** 인하대학교 기계공학과

New Method for Estimating Gas Interchangeability for 13A Gas Appliances

Young Cheol Ha^{*†}, Seo Jong Park^{**}, Won Sic Park^{**}, Kyoung Seok Choi^{***} and Chang Eon Lee^{****}

* Gas Quality and Flow Measurement Lab, R&D Division, Korea Gas Corporation,

** Energy Appliance Testing Institute,

*** Appliances Research Department, Korea Gas Safety Corporation,

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

(Received April 25, 2011 ; Revised June 15, 2011 ; Accepted June 15, 2011)

Key Words: Gas Interchangeability(가스호환성), 13A Gas Group(13A 가스그룹), 13A Gas Appliance(13A 가스 연소기기),

초록: 본 연구에서는 13A 가스기기의 새 가스호환성 판정법을 개발하고자 하였다. 호환성 판정법 개발의 원칙은 세 가지로서, 1) 웨버지수 외에 가스조성 영향을 대표할 수 있는 인자의 도출, 2) 우리나라 가정과 업소에 보급된 모든 종류의 제작사별 가스기기(예혼합 가스기기 포함) 시험, 3) 가능한 한 간단한 판정법 개발이다. 이러한 원칙하에 30대의 대표성 있는 가스기기에 대하여 가스호환성 실험을 하였고 그 결과 웨버지수-비중 형식의 간단한 2차원 판정법(도표)을 개발하였다. 본 호환성 판정법은, 기존 호환성 판정법과 달리 화염안정 영역이 좁은 예혼합 가스기기를 포함하며, 이로 인해 기존 호환성 판정법보다 가스호환성 영역이 좁은 것으로 나타났다.

Abstract: The objective of this study was to develop a new method for estimating gas interchangeability for 13A gas appliances. The three basic principles for the development of this method are as follows: 1) to derive the secondary interchangeability factor that represents the effect of gas composition, in addition to the major interchangeability factor, i.e., Wobbe index; 2) to test every type of and each maker's domestic gas appliances that are widely used in our country, particularly including premixed gas appliances; and 3) to develop a simple estimation method. On the basis of these principles, thirty representative gas appliances were tested, and as a result, a simple two-dimensional interchangeability diagram consisting of Wobbe index and relative density was developed. Unlike conventional methods for estimating interchangeability, this method can be applied to premixed gas appliances, which have a narrow stable flame range, and the interchangeability range of this method then becomes narrower than that of the conventional methods.

1. 서 론

현재 우리나라에서 사용되는 도시가스는 통상 13A로 명명되는 단일 가스그룹이다. 이는 메탄을 주성분으로 하는 가스 중 웨버지수(Wobbe Index) - 발열량을 비중의 제곱근으로 나눈 값으로 열입력량의 척도 - 범위가 52.75~57.78 MJ/Nm³(12,600~13,800 kcal/Nm³)인 가스를 주로 지칭하는 것으로서 일본 JIS의 13A 가스그룹을 그대로 차용한 것이

다. 13A 가스그룹은 도시가스 중 거의 LNG만을 포함하는 매우 고열량의 가스그룹이어서 이를 대체할 새 가스그룹(가칭 5156 가스그룹)과 가스기기 시험 가스 개정안이 현재 입법 개정 예고되어 있다. 그러나 13A 가스그룹 기준으로 생산된 가스기기는 향후 10~15년 동안 계속 사용될 것이고, 또 LPG 증열을 할 경우 상당 부분의 PNG (Pipeline Natural Gas)와 바이오-SNG, 석탄-SNG 등의 대체천연가스(Substitute Natural Gas, SNG)가 13A 가스그룹에 포함될 수 있어서 향후 십 수 년 동안은 13A 기기에 대한 고려가 반드시 필요하다.

† Corresponding Author, fractals@kogas.or.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

13A 가스그룹은 유럽의 H-gas 그룹⁽¹⁾과 유사하고 일본의 13A 그룹과 일치한다. 이로 인해 현 우리나라 가정/업소용 가스기기를 통상 13A 가스기기로 호칭하기도 하나 실제로는 일본의 13A 기기와 차이점이 있다. 현 KS B 8101⁽²⁾의 가스기기 시험가스인 13A-1, 2, 3번 가스(불완전연소, 역화, 화염부상 한계 시험가스)는 일본과 동일하지만 13A-R 가스(기기 성능 최적화 가스, 효율 및 출력 시험용)는 우리나라와 일본이 서로 다르다. 시험 가스 중 R가스만 다르더라도 가스기기의 가스호환성 범위가 달라지기 때문에 실질적으로 우리나라와 일본의 가스호환성 범위는 다소 다를 개연성이 높다. 일본의 13A 가스기기 가스호환성 판정법은 웨버지수 범위 12,600~13,800 kcal/Nm³과 MCP(최대연소속도지수)-화염 팽창 속도를 배제한 층류 화염의 전파 속도-35-47로만 간단히 규정되어 있는데, 이는 프랑스의 Delbourg^(3,4) 방법을 상당히 간략화 한 것이다. 이러한 문제로 인해 일본의 13A 호환성 판정법이, 2009년 도시가스사업법에 새로 포함된 대체천연가스나 2014년부터 국내에서 생산될 석탄-SNG 그리고 불활성가스가 다량 포함된 러시아 PNG(중장기적으로 도입 개연성이 높음) 등에 적용 가능한 지 불확실하다(LPG 증열 가정).

현재 우리나라에서 흔히 쓰이는 가스호환성 판정 절차는, AGA,⁽⁵⁾ Weaver⁽⁶⁾ 방법 등 다소 엄격한 호환성 판정법의 결과를 종합하여 가장 좁은 값을 선택하는 방식이다. 그러나 이들 방법에는 R 가스를 제외한 나머지 가스기기 시험가스에 대한 고려가 전혀 없고 또 근래 개발된 예혼합 가스기기에는 적합하지 않는 것으로 확인되어⁽⁷⁾ 새로운 호환성 판정법 개발이 필요하게 되었다.

새로운 13A 호환성 판정법 개발을 위해 본 연구에서 주안점을 둔 사항은 크게 3가지로서 1) 웨버지수 외에 가스조성 영향을 대표할 수 있는 인자의 도출, 2) 우리나라에 보급된 가스기기의 종류(예혼합 가스기기 포함) 및 제작사별 가스기기 특성, 3) 가능한 간단하고 쉬운 형식의 판정법 개발이다. 이러한 원칙하에 30대의 대표성 있는 가스기기를 대상으로 가스호환성 실험하였고 그 결과 웨버지수-비중 도표 형식의 간단한 2차원 판정법이 개발되었다.

2. 호환성 판정법 개발 모델

호환성 판정법 모델을 결정하기 위해 국외 호환

성 판정법 11가지를 선행 과제⁽⁸⁾에서 검토하였다. 이 중 9가지는 근래에 상용화된 예혼합 가스기기에는 부적합하다는 것이 Lee⁽⁷⁾에 의해 이미 확인된 바 있고 또한 복잡한 수식이어서 실제 적용에 어려움이 있어 이를 제외하고, 80년대 중반에 개발된 영국의 Dutton diagram⁽⁹⁾과 2007년도에 개발된 호주의 S-diagram⁽¹⁰⁾ 호환성 판정법 두 가지를 개발 모델로 검토하였다. 이 두 호환성 판정법의 특징은, 복잡한 수식으로 되어 있는 기존의 판정법과 달리 간단한 2차원 도표로 되어 있다는 점과, 웨버지수-등가가스 농도 또는 웨버지수-비중의 함수로서 가스조성 영향이 포함되어 있다는 점이다. Dutton-diagram 판정법은 웨버지수를 종축으로 하고 등가가스의 농도(등가 프로판+등가질소의 몰 농도)⁽⁹⁾를 횡축으로 하는 2차원 도표로 되어 있어서 기존보다는 편리하나 등가가스를 복잡하게 계산해야하는 번거로움이 있다. S-diagram 판정법은 Dutton 판정법의 등가가스 대신 가스 밀도와 공기 밀도의 비인 비중(relative density)으로 도표가 작성되어 있다는 점과 불활성가스와 발열량 한계 라인이 별도로 있는 것이 Dutton 판정법과 차이가 난다. S 판정법은 가정/업소용 가스기기 뿐만 아니라 발전 및 산업용 가스기기도 포함한 것이어서 발열량과 불활성가스 농도가 포함된 것이다. Dutton 판정법과 S 판정법을 비교해보면 Dutton 판정법의 등가가스 농도(가스조성 영향 인자)와 S 판정법의 비중이 서로 호환되는 것을 알 수 있어서, 본 연구에서는 가스조성 영향 인자로 비중을 택한 S 판정법을 기본 모델로 하였다. 다만, KS B 8101이 적용되는 가정/업소용 가스기기의 경우 발열량과 불활성가스 농도를 특별히 제한할 필요가 없기 때문에 이를 제거하고 웨버지수-비중의 도표로 호환성 판정법을 개발하였다. 한 가지 단점은 수소 농도가 포함되지 않았다는 점인데 천연가스(LNG/PNG)에는 수소가 없고 대체천연가스에는 수소 농도가 유의미한 수준으로 포함되는 경우는 없으며 다만 나프타 부생가스의 경우만 수소 농도가 10 mol %까지 될 수 있는데 이는 고압배관망의 수소취성을 유발하기 때문에 일반 도시가스로는 사용할 수 없어 문제되지 않는다.

3. 실험

3.1 실험 장치

Fig. 1은 13A 연소기기 새 가스호환성 판정법

Table 1 The list of gas burning appliances for test

Kind of gas appliance	Burner type	Quantity
Gas hot water boiler	Partially premixed	12(6) [†]
Condensing gas hot water boiler	Premixed	3(1)
	Partially premixed	6(2)
Gas over range	Partially premixed	6(3)
Gas rice cooker	Partially premixed	3(1)
Total		30(13)

[†]() : Number of used appliances

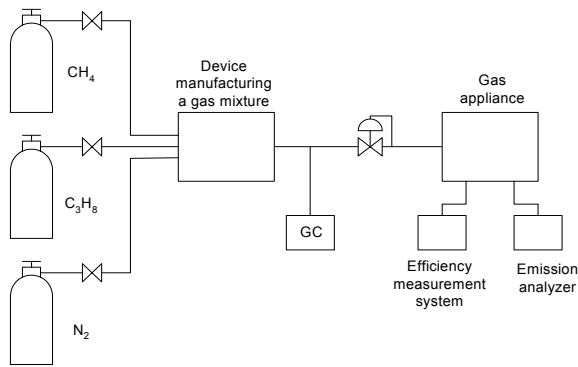


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

개발을 위한 실험 장치의 개략도이다. 실험 대상 가스기는 Table 1에 나타낸 바와 같이 총 30대로서 연소 방식, 웨버지수 민감도, 보급률, 급배기 방식, 제작사별 최소 1대, 노후기기 포함 등의 원칙으로 선정한 것이다.

실험에 필요한 다양한 조성의 혼합 가스를 만들기 위해 순도 99.95 %의 메탄, 프로판, 질소가 사용되었다. 이들 가스는 실험가스 제조기에 공급되고 제조기에서는 3 개의 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 세팅된 조성에 맞는 혼합 가스를 정확히 제조한다. 혼합 가스는 압력조절기를 통해 필요 압력으로 감압되어 시험 대상 가스기로 유입된다. 혼합 가스의 조성은 GC(Gas chromatography, Horiba PG250)를 이용하여 수시로 확인하고, 가스기의 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 O₂, CO, CO₂, NO_x의 농도를 측정하고 이론 건조 연소가스 중의 농도 값으로 환산하였다. 주위 환경 조건에 따른 실험 불확도를 줄이기 위해 시험실 온도는

Table 2 Comparison of superior calorific value and MCP between typical LNG and the equivalent gas mixture

	Composition (mol %)						Calorific value (MJ/m ³)	MCP
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	N ₂		
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

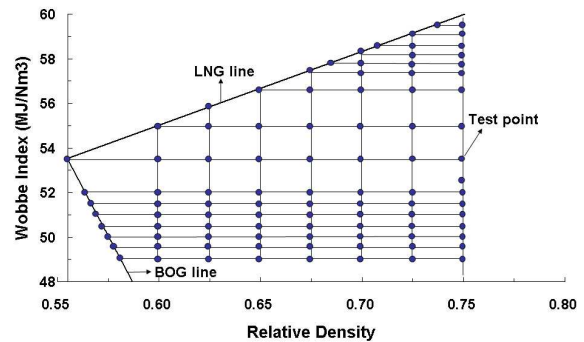


Fig. 2 Test points for the interchangeability of 13A gas appliances

22 ± 3℃, 습도는 59 ± 3 %로 유지하였으며 연료와 공기의 온도는 일치시켰다.

본 실험에서 실제 가스조성 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 등가-동일한 웨버지수와 거의 동일한 발열량, 압축인자 및 연소속도-의 메탄, 프로판, 질소로 변환 가능하다는 것이 Dutton과 Kim^(9,11)의해 이론 및 실험적으로 증명되었기 때문이다. Table 2는 전형적인 LNG와 등가가스의 발열량, 최대연소속도지수를 계산한 것인데 차이가 -0.01 %, 0 %임을 알 수 있으며 모든 LNG에 대해서도 이 수준의 차이만을 나타낸다. 다만, 불활성가스 농도가 높은 SNG의 경우 이산화탄소 농도에 따라 발열량이 최대 0.5 %까지 차이가 날 수 있다.

3.2 실험 방법

Fig. 2는 가스기기 호환성 영역을 확인하기 위해 설정한 실험 점을 나타낸다. 여기서 54 MJ/Nm³ 근방에서 시작하는 우 상향 사선은 불활

Table 3 The coordinates of the interchangeability diagram

#	Partially premixed		Premixed	
	Wobbe index (MJ/Nm ³)	Relative density	Wobbe index (MJ/Nm ³)	Relative density
1	53.53	0.5549	53.53	0.5549
2	55.79	0.6223	55.79	0.6223
3	57.32	0.6695	57.32	0.6695
4	56.00	0.7500	56.00	0.7500
5	51.00	0.7500	52.50	0.7500
6	50.50	0.7000	52.00	0.7000
7	50.50	0.6500	52.00	0.6250
8	50.50	0.5722	52.00	0.5636

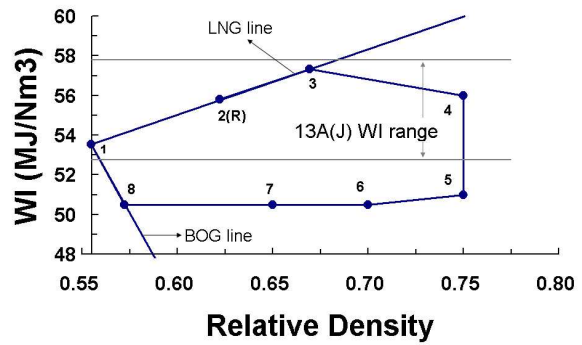
성가스가 없는 탄화수소 라인(= LNG 라인)을 나타내며 우 하양 사선은 메탄과 질소로만 구성된 BOG(Boil Off Gas) 라인을 나타낸다. 수소가 없는 천연가스나 대체천연가스는 이 두 사선 오른쪽에만 존재하며, 사선 오른쪽으로 이동함에 따라 메탄 이상의 고탄화수소와 불활성가스 농도가 증가하게 된다. 실험 영역은 웨버지수 49.0~59.5 MJ/Nm³, 비중 0.55~0.75이며 웨버지수 범위 52.0~56.0 MJ/Nm³까지는 1 MJ/Nm³ 간격으로, 이 범위 밖에서는 0.5 MJ/Nm³ 간격으로 조밀하게 실험 점을 설정하였고 비중은 0.05 간격으로 일정하게 하였다. 비중의 한계를 0.75로 한 것은 천연가스나 대체천연가스가 분포하는 최대 비중 값이 0.7 내외이기 때문에 여기에 0.04~0.05 정도의 여유를 둔 0.75로 한 것이다.

실험 효율을 높이기 위해, 상기 실험 점에서 전체 실험 대상 가스기기의 호환성 실험을 하지 않고 특성이 다른 가스기기를 종류별로 각 1대씩 (총 5대) 선정하여 Fig. 2의 시험 점에서 호환성 영역을 찾아낸 후 나머지 가스기기에 대해서는 가스호환성 경계가 정확한 지 확인 시험을 하였다. 확인 시험은 가스호환성 경계선과 경계선 상하 0.5 MJ/Nm³ 지점에 대하여 수행하였다.

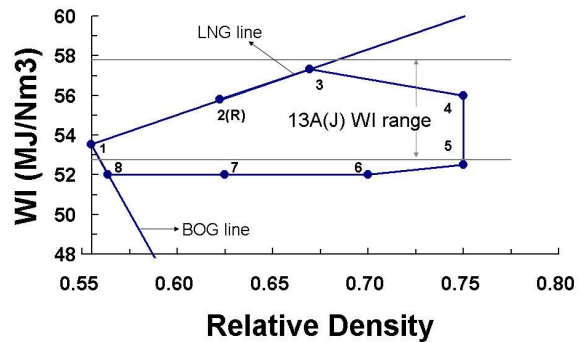
4. 결과 및 고찰

4.1 가스호환성 영역

Fig. 3과 Table 3은 13A 새 가스호환성 판정법(이하 판정도표)과 좌표를 나타내는 것으로 실험된 30대 가스기기(부분예혼합 27대, 예혼합 3대)의 공통 호환성 영역을 나타낸다. 여기서 Fig. 3(a)는 부분예혼합을, 3(b)는 예혼합 가스기기의 호환성 도표를 나타내며, 기존 판정법의 근간을



(a) Partially premixed



(b) Premixed

Fig. 3 Gas interchangeability diagram of 13A gas appliances

이루는 부분예혼합 가스기기와 본 연구에 포함된 예혼합 기기의 가스호환성을 비교하기 위해 두 기기의 호환성 도표를 분리하여 개발하였다. 그림에서 각 번호는 특성이 다른 5개의 가스기기로 도출한 판정도표 시안의 좌표 또는 보정된 좌표를 나타내는 것으로 시안의 좌표 및 좌표 상·하 0.5 MJ/Nm³ 지점에서 전체 가스기기의 호환성을 실험하여 얻은 최종 좌표이다.

먼저 가스호환성 도표의 각 경계선에 대하여 설명하면, 1~3번을 잇는 라인은 불활성가스가 없는 LNG 라인을 나타내며 2번 점은 13A 가스기기의 R 가스로서 정격 출력과 효율 시험 점이다. 3~4번을 잇는 라인은 불완전연소 한계를 나타내며 불완전연소지수(CO/CO²)와 질소산화물의 농도가 R 가스 대비 1.5배인 지점을 나타낸다. 새 가스기기의 경우 현 KS가 허용하는 일산화탄소 한계(기기 종류 및 설치 조건에 따라 0.1~0.2 vol %)를 따를 경우 불완전연소 한계는 위쪽으로 더 올라 갈 수 있으나 이를 따르지 않은 이유는, KS의 일산화탄소 허용치가 너무 높고 향후에는 질

소산화물 농도 규제가 예상되어 이에 대한 적절한 제한 조건이 필요했기 때문이며, 또 노후 가스기기(5~10년 사용)는 CO 농도가 다소 높게 나타나는 경향이 있는데 이럴 경우 KS 한계를 초과할 수 있어서 노후 및 새 가스기기에 일관성 있게 적용할 기준이 필요했기 때문이다. 이렇게 R 가스 농도의 배수 방식으로 불완전연소 한계를 정하는 것은 Dutton과 S 판정도표 개발 시 채택한 방식과 동일하다. 6~8번 라인은 화염부상 한계를 나타내는 것으로 육안으로 화염부상을 확인하고, 화염부상 시 CO 농도가 크게 증가하는 경향이 있어서 CO 농도로서 화염부상 여부를 추가로 확인하였다.

Fig. 3(a)에 나타낸 부분예혼합 가스기기의 최대 웨버지수 범위를 보면 50.50~57.32 MJ/Nm³으로서 일본 13A(이하 13A(J)로 표기) 웨버지수 범위 52.75~57.78 Nm³과 비교해 아래쪽으로 이동한 것을 알 수 있다. 웨버지수 상한의 경우(3번) 13A(J) 웨버지수 상한보다 0.8 % 낮고 하한은 13A(J) 하한보다 4.3 %나 아래로 확장된 것을 알 수 있다. 웨버지수 상한이 13A(J) 상한보다 약간 낮은 이유는 불완전연소 한계를, 안전을 위해 다소 엄격하게 선정한데서 비롯된 것으로 보이고, 하한이 13A(J)보다 크게 확장된 것은 일본보다 우리나라의 R가스 웨버지수가 낮은 데서 비롯된 것으로 판단된다. 불완전연소 한계는(3-4번을 잇는 라인) LNG 라인을 따라서는 13A(J) 웨버지수 상한과 동일하나 LNG 라인 오른쪽으로 이동함에 따라 점차 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. LNG 라인 오른쪽으로 갈수록 발열량과 불활성가스 농도가 증가하는데, Table 4의 부분예혼합 3번과 4번의 불활성가스 농도와 발열량을 비교해 보면 3

번에 비해 4번의 불활성가스 농도가 5.11 %나 증가했음에도 발열량(HV)이 1.59 MJ/Nm³(380 kcal/Nm³) 정도 증가한 것을 알 수 있다. 이를 프로판 농도로 환산하면 약 8.5 % 정도 증가했음을 의미하며 따라서 불완전연소 한계가 LNG 라인 오른쪽으로 갈수록 낮아지는 원인은 고탄화수소 증가에서 비롯되는 것으로 판단할 수 있다.

화염부상 한계는(Fig. 3(a)의 8-5번) 비중 0.55에서 0.70까지는 일정하다가 0.75에서 0.5 MJ/Nm³만큼 위쪽으로 이동하는 것을 관찰할 수 있다. BOG 라인 오른쪽으로 이동함에 따라 연소속도는 미소하지만 증가하기 때문에(Table 4의 부분예혼합 5-8번 참조) 웨버지수-연속속도로 표현되는 13A(J) 호환성 판정 방식으로 볼 때는 부상 한계가 위로 올라가지 않아야 하는데, 실험 결과는 연소속도가 증가함에도 화염부상 한계가 위로 올라가는 것으로 나타났다.

Fig. 3(b)의 예혼합 가스기기 호환성 판정도표도 부분예혼합과 경향이 유사한데, 불완전연소 한계는 부분예혼합과 일치하고 다만, 화염부상 한계가 부분예혼합보다 상당히 위쪽으로 이동했다는 점이 다르다. 화염부상 한계는 13A(J) 최저 웨버지수보다 1.4 % 정도만 아래쪽으로 확장된 것을 관찰할 수 있다. 예혼합 가스기기의 화염부상 한계와 관련하여 한 가지 특이 사항은 이 한계의 웨버지수 값이 13A 화염부상 한계 시험가스(13A-3)의 웨버지수 값(52.0 MJ/Nm³)과 일치한다는 점이다. 예혼합 버너의 좁은 연소 영역 때문에 기기 형식 승인에만 통과할 수 있도록 기기 조정이 되었기 때문인 것으로 판단된다.

부분예혼합 및 예혼합 가스기기의 가스호환성 영역 고찰로부터 일본 13A 호환성 판정법인 웨버지수-연속속도만으로는 가스호환성을 판단하는데 다소 부족한 것을 알 수 있으며 연소속도 대신 가스조성 효과를 고려한 본 판정법이 적절함을 알 수 있다.

본 연구에서는 부분예혼합과 예혼합 가스기기의 호환성 판정법을 분리하여 개발하였지만 실제 적용에서는 이 두 판정도표의 중첩 영역이 가스기기를 안전하게 사용할 수 있는 영역이 되므로 Fig. 3(b)의 예혼합 판정도표가 13A 가스기기의 가스호환성 판정도표가 된다.

Table 4 Heating value, maximum combustion potential and equivalent nitrogen concentration at each test point in the interchangeability diagram

#	Partially premixed			Premixed		
	HV (MJ/Nm ³)	MCP	Equivalent N ₂ (mol%)	HV (MJ/Nm ³)	MCP	Equivalent N ₂
1	39.87	36.0	0.0	39.87	36.0	0.0
2	44.01	36.9	0.17	44.01	36.9	0.0
3	46.90	37.3	0.0	46.90	37.3	0.0
4	48.49	37.1	5.11	48.49	37.1	5.11
5	44.17	35.8	11.73	45.47	36.2	9.74
6	42.25	35.6	9.98	43.50	36.0	8.06
7	40.71	35.5	7.64	41.11	35.8	4.69
8	38.20	35.2	4.19	39.04	35.6	2.09

4.2 열효율

Table 5와 Fig. 4는 각 시험 점에서 가스기기의

열효율을 R 가스(2번 점) 기준으로 나타낸 것이다. 1~8번까지의 모든 시험 점에 대한 열효율 측정은, 열효율이 가장 중요시되는 콘텐츠보일러 2대에 대해서만 하였고 나머지 기기 중 절반은 현 도시가스(LNG)의 공급영역인 1, 2, 3번에 대해서 수행하고 나머지 절반은 SNG의 열효율을 알아보기 위해 다른 측정 점에서 수행하여 여기서는 제외하였다. 그리고 Table 5에서 R 가스의 열효율이 다소 낮은 것은 화염 상태를 보기 위해 가공한 가시화 창(운모)을 통해 열손실이 다소 발생했기 때문이다.

먼저 각 시험 점 모두에서 열효율을 측정한 6, 7번 기기의 결과를 보면 가스호환성 전 영역에서 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 최대 차이가 +0.6, -0.7 % 포인트 정도인 것을 관찰할 수 있고 일정한 경향은 확인이 되지 않았다. 열효율 변화의 경향은, Fig. 4에 나타난 1, 3번(LNG 최소·최대 웨버지수)의 측정 결과를 보면 다소 명확히 알 수 있는데 기기별로는 웨버지수 저하에 따

라 +/- 양방향의 편차를 보이지만 평균값의 추세선을 보면 R 가스를 기준으로 1번 점이 0.1 % 정도 열효율이 감소하고, 3번 점은 0.1 % 정도 열효율이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 그런데 도시가스로 공급되는 대부분의 천연가스 또는 대체천연가스(LPG 증열 가정)는 1번과 2번(R가스)의 중간 범위에 있으므로 열효율 변화는 현 공급가스의 웨버지수-비중의 범위에서는 미미할 것으로 추정할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 새로운 13A 호환성 판정법을 개발하고자 하였다. 호환성 판정법 개발을 위해 주안점을 둔 사항은 크게 3가지로서 1) 웨버지수 외에 가스조성 영향을 대표할 수 있는 인자의 도출, 2) 우리나라에 보급된 가스기기의 종류(예혼합 가스기기 포함) 및 제작사별 가스기기 특성, 3) 가능한 한 간단하고 쉬운 형식의 판정법 개발이다. 이러한 원칙하에 30대의 대표성 있는 가스기기를 대상으로 가스호환성 실험을 하였고 그 결과 웨버지수-비중 형식의 간단한 2차원 판정법이 개발되었으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 예혼합 판정도표와 기존 판정법의 근간을 이루는 부분예혼합 판정도표를 비교한 결과, 부분예혼합의 화염부상 한계가 예혼합에 비해 약 2.9 % 정도 아래로 확장된 것을 알 수 있었다.

(2) 예혼합 가스기기의 화염부상 한계는 화염부상 한계 시험가스(13A-3)의 웨버지수와 일치하는 경향이 관찰되었다.

(3) 새 13A 호환성 판정법의 웨버지수 최대 범위는 52.00~57.32 MJ/Nm³으로서 현 13A 웨버지수 범위보다 약간 넓으나 비중이 증가함에 따라 이 범위는 감소하여 비중 0.75에서는 52.50~56.00 MJ/Nm³의 범위로 축소되었다.

(4) 일본 13A 호환성 판정법인 웨버지수-연소속도만으로는 가스호환성을 판단하는데 다소 부족하며 연소속도 대신 가스조성 영향 인자로 비중을 선택한 본 판정법이 적절한 것으로 판단된다.

(5) 열효율은 호환성 전 영역에서 최대 ±0.7 % 포인트(R 가스 기준)의 편차만을 보였고, 관심 대상인 LNG 영역에서는 평균 ±0.1 % 정도의 변화만 관찰되었다.

Table 5 Thermal efficiencies of hot water boilers at the test points

#	Burner type	R gas		Deviation (% point)					
		2	1	3	4	5	6	7	8
1	PP	83.0	+0.4	+0.1	-	-	-	-	-
2	PP	80.3	-0.1	+0.5	-	-	-	-	-
3	PP	80.0	-0.1	-0.3	-	-	-	-	-
4	PP	78.1	-0.4	+0.3	-	-	-	-	-
5	PP	82.8	-0.3	+0.1	-	-	-	-	-
6	PP	83.2	+0.3	-0.1	-0.4	+0.4	+0.4	-0.1	-0.4
7	P	86.3	-0.1	-0.5	-0.4	+0.6	-0.2	-0.7	-0.1
8	P	87.0	+0.2	+0.6	-	-	-	-	-
9	PP	85.8	+0.1	+0.1	-	-	-	-	-
10	PP	84.0	-0.6	-0.2	-	-	-	-	-
11	PP	86.3	+0.3	+0.5	-	-	-	-	-
12	PP	87.3	-0.1	+0.1	-	-	-	-	-

PP : Partially premixed, P : Premixed

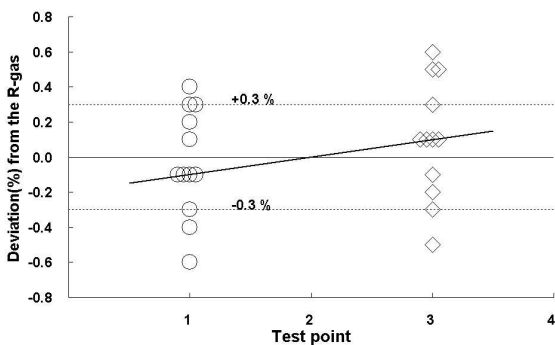


Fig. 4 Comparison of the thermal efficiency between test point 1 and 3

참고문헌

- (1) The European Committee for Standardization, 2003, "EN437:Test gases — Test Pressures — Appliance Categories," CEN, Brussels
- (2) Korean Agency for Technology and Standard, 2008, "KS B 8101-Test Method of Gas Burning Appliances."
- (3) Delbourg, P., 1958, *Gas Warne* 7, pp. 342~357
- (4) International Organization for Standardization, 1995, "ISO 13868 : Natural Gas — Quality designation," ISO, Geneva.
- (5) AGA Testing Laboratories, 1946, "Interchangeability of Other Gases with Natural Gas," AGA Bulletin No. 36.
- (6) Weaver, E. R., 1951, "Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gas," *J. Research of the National Bureau of Standards*, Vol. 46, No. 3, pp. 213~245.
- (7) Lee, C., Yu, H. and Ha, C., et al., 2006, "An Investigation on the Combustion Characteristics and the Interchangeability of Gas Appliances with the Compositional Chagement of Natural Gas," KOGAS Project No. 05-PA-GF-Plan-010-31, Korea Gas Corporation.
- (8) Lee, C., 2009, "Study on the Interchangeability Estimation Method of Partial Premixed Gas Appliance," Korea Gas Corporation.
- (9) Dutton, B. C., 1984, "A New Dimension to Gas Interchangeability," *The Institution of Gas Engineers*, Communication 1246.
- (10) Economic Regulation Authority, 2007, "Gas Exchangeability in Western Australia — Gas Quality Specifications of Interconnected Pipeline System," Western Australia.
- (11) 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.