

천연가스 내 미량의 수소함량이 가스터빈의 연소특성에 미치는 영향

이민철^{*,**†} · 박세익^{**} · 김성철^{**} · 윤지수^{*} · 주성필^{*} · 윤영빈^{*}

Effect of low H₂ content in natural gas on the Combustion Characteristics of Gas Turbine

Min Chul Lee^{*,**†}, Seik Park^{**}, Sungchul Kim^{**}, Jisoo Yoon^{*}, Sungpeel Joo^{*}, Youngbin Yoon^{*}

ABSTRACT

This paper describes gas turbine combustion characteristics of synthetic natural gas which contains a small amount hydrogen content. By conducting ambient pressure high temperature combustion test at gas turbine relevant combustor geometry, the combustion characteristics such as combustion instability, NO_x and CO emission, temperatures at turbine inlet, nozzle and dump plane, and flame structure from high speed OH chemiluminescence images were investigated when changing hydrogen content from zero to 5%. From the results, qualitative and quantitative relationships are derived between key aspects of combustion performance, notably NO_x/CO emission and combustion instability. Natural gas containing hydrogen up to 5% does not show significant difference in view of all combustion characteristics except combustion instability. Only up to 1% hydrogen addition could not change the pressure fluctuation and phase gas between fluctuations of pressure and heat release. From the results, it can be concluded that synthetic national gas which contains 1% of hydrogen can be guaranteed for the stable and reliable operation of natural gas firing gas turbine.

Key Words : Gas Turbine Combustion, Synthetic Natural Gas, NO_x emission, Combustion Instability

최근 에너지와 기후변화 문제를 해결을 위한 주요 해결책 중 하나인 석탄이용 청정발전 및 청정 에너지 생산기술이 크게 각광받고 있고, 이러한 기술과 관련하여 국내에는 석탄가스화 기술을 근간으로 하는 두 개의 대형 실증플랜트 건설과제 진행 중에 있다. 하나는 한국서부발전 주도의 태안 석탄가스화 복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 플랜트로 2015에 준공하여 2016년부터 상업발전을 계획하고 있으며 다른 하나는 POSCO에서는 석탄을 이용한 합성천연가스(Synthetic Natural Gas, SNG) 생산플랜트로 현재 광양에서 건설중에 있으며, 2014년에 준공하여, 연간 500kton의 합성천연가스 생산할 것을 계획하고 있다. 이 플랜트로부터 생산되는 합성천연가스는 천연가스 배관망에 물려져서 가스터빈을 포함한 각종 가스사용 기구들에 사용될 것이기 때문에 이에 대한 영향성 평가 및 합성천연가스의 품질기준이 필요하다. 특히 합성천연가스는 생산시 경제적 효율문제로 약간의 수소성분을 포함하게 되는데, 본

연구에서는 이 미량의 수소조성이 가스터빈 연소특성에 미치는 영향에 대해 실험적으로 평가하고, 그 기준이 되는 수소함량을 도출하였다. 실험에 사용된 연소시험설비는 Fig. 1과 같고, 그 자세한 구성은 본 연구팀의 이전 연구내용을 참조할 수 있다 [1, 2]. 4가지 종류의 합성천연가스가 시험용 연료로 사용되었으며, 그 조성 및 연소물성은 표 1과 같다. CO, C1, C3, C5의 합성천연가스는 물분율 기준으로 각각 0%, 1%, 3%, 5%의 수소함량을 가지고 있으며, 동일열량 유지를 위해 프로판을 추가적으로 주입한 가스를 사용하였다. 가스 호환성을 의미하는 웨버지수(Wobbe Index)는 거의 동일한 수준으로 유지되었으며, 수소함량의 증가에 따라 가연범위는 넓어졌고, 당량비 및 이론 연공비는 줄어들었다. 측정에는 배기가스 중 NO_x 및 CO 농도측정을 위해 연소기 출구에서 배가스를 추출 후 TESTO360 가스분석기를 이용하여 분석하였고, 연소실 내 노즐온도, 덤프면 온도, 연소실 출구온도를 k-type 열전대를 이용하여 각각 측정되었다. PCB106B 동압센서를 이용하여 압력의 섭동을 측정하였고, 열발생량의 변화 및 화염의 거동을 확인하기 위해서는 고속카메라와 OH* 필터를 이용하여 자발광신호를 측정하였으며, 이 신호는 연소실내 동압신호와 동기화되었다.

* 서울대학교 기계항공공학부

** 한국전력공사 전력연구원

† 연락처, lmc@snu.ac.kr

TEL : (02)-880-7396 FAX : (02)-880-8032

본 초록에서는 시험을 통해 얻은 결과 중 중요 데이터만을 다루고자 한다. 우선 Fig. 2에서 보는 바와 같이 연소효율은 거의 100%에 가까운 완전연소 특성을 모든 시험조건에 대해 얻을 수 있었고, NOx는 입열량의 증가에 따라 증가하는 경향을 모든 SNG 연료에 대해 확인할 수 있었으며, CO배출특성의 경우 35kW인 경우를 제외하고는 2ppm이하의 낮은 값을 유지하였다. 이는 CO배출에 있어서 가장 큰 평균 단열화염온도가 낮음으로 인해 CO의 산화가 충분히 이르는 활성화 에너지를 갖지 못했기 때문으로 분석된다.

한편 동압특성의 경우 C0와 C1이 유사하고, C3와 C5가 유사한 결과와 P_{rms} , (1)이 P_{rms} , (2)편의 두배 정도가 되는 것이 특징적인데, 이는 본 연구의 연소기가 Quarter wave의 정현파가 형성되는 특성 때문에 덤프면의 계측위치에서 최대값을 라이너에서는 그 중간값 정도의 크기가 계측됨을 원인으로 들 수 있다. 또한 C0와 C1까지만 유사하고, 그 이후의 조성에 대해서는 유사하지 않은 것으로부터 수소에 대한 비선형적 거동과 천연가스 내의 수소함량 기준 선정에 있어서 중요한 결과라 할 수 있다. 본 연구를 통해 다양한 낮은 함량의 SNG가스의 연소특성을 확인하였으며, 향후 본 연구결과가 석탄-SNG 가스의 품질기준 수립에 있어서 기초자료로 활용될 것으로 예상된다.

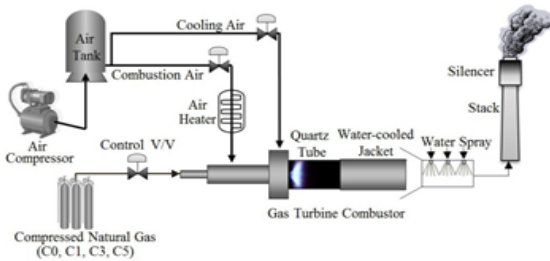


Fig. 1 Schematic diagram of 60kW scale ambient pressure gas turbine combustion facility.

Table 2 Chemical composition and combustion properties of tested gases.

Composition / Property	Unit	NG	C0	C1	C3	C5
H ₂	vol %	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0
CH ₄	vol %	92.5	95.3	93.8	91.0	88.1
C ₂ H ₆	vol %	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C ₃ H ₈	vol %	1.5	4.7	5.2	6.1	6.9
i-C ₄ H ₁₀	vol %	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
n-C ₄ H ₁₀	vol %	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
i-C ₅ H ₁₂	vol %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N ₂	vol %	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
density	kg/m ³	0.774	0.774	0.773	0.772	0.769
HHV	MJ/Nm ³	42.71	42.71	42.71	42.71	42.71
WI	MJ/Nm ³	55.47	55.53	55.1	55.14	55.18
LFL	vol %	4.7	4.69	4.66	4.58	4.51
UFL	vol %	15.06	14.96	15.04	15.19	15.35
AF _{st}	L/L	10.191	10.195	10.188	10.170	10.145

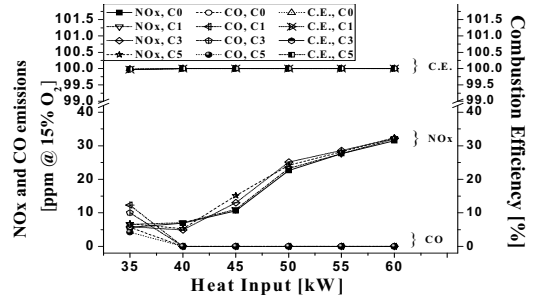


Fig. 2. CO and NOx emissions of C0, C1, C3 and C5 gases with respect to heat input.

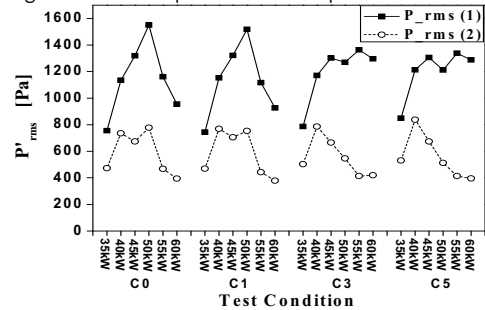


Fig. 3 Pressure fluctuations of C0, C1, C3 and C5 gases with respect to heat input.

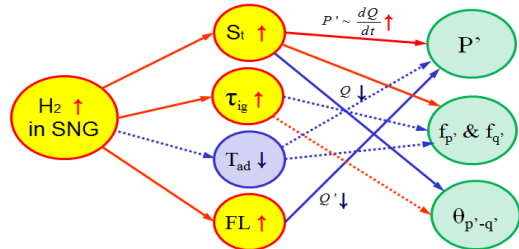


Fig. 4 Cause and effect diagram between hydrogen content in fuel and combustion instability (red line: positive effect, blue line: negative effect, dashed line: weak effect).

후 기

본 연구는 석탄-SNG 품질기준단의 지원에 의한 연구성과입니다. 또한 본 연구는 교육과학기술부의 중견연구자지원사업(0498-20110009)과 서울대학교 항공우주신기술연구소(AAAT)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] M. C. Lee et al., "Experimental study on the effect of N₂, CO₂, and steam dilution on the combustion performance of H₂ and CO synthetic gas in an industrial gas turbine", FUEL, 102, 2012, pp. 431-438.
 [2] M. C. Lee et al., "Effect of hydrogen content on the gas turbine combustion performance of synthetic natural gas", ASME Turbo Expo, 2013, GT2013-95966.