

연료 메탄 농도 변화에 따른 발전용 소형 가스터빈 연소기 배기성능 평가

임지혁* · 최진훈* · 김호근* · 전재철*

Emission Characteristics of a Small Size Industrial Gas Turbine Combustor with Varying Methane Concentrations in Fuel

Ji-Hyuk Im* · Jinhoon Choe* · Ho Keun Kim* · Jaechul Chun*

ABSTRACT

Since gas turbine using biogas can reduce carbon dioxide (CO₂), the biogas gas turbine is becoming more attractive to renewable energy utilization business sector. Natural gas and CO₂ mixture was used to simulate the biogas fuel. At the experiments pressure losses, pattern factor, and emissions were measured. The results revealed that methane concentrations of the fuel mixture showed little effects on the combustor performance except emissions. As methane concentrations in fuel decreased, emissions measured at the exit of the combustor decreased.

Key Words : Gas turbine, Combustor, Emission, Biogas

바이오 연료는 환경문제를 해결하고자 하는 노력과 각 정부의 환경 친화적 정책에 의해 각광받고 있다. 바이오 연료를 사용하게 되면 이산화탄소(CO₂)를 줄일 수 있으며 에너지원이 화석연료로 지나치게 편중되는 것을 감소시키는 효과가 있다. 또한, 송배전이 불가능한 외진 지역에서 바이오 연료를 이용하면 분산 발전이 가능하게 되어 지역의 균형적인 발전에도 도움이 된다. 이에 따라 가스터빈에서 바이오가스를 비롯하여 Syngas, Landfill 가스, BFG(Blast Furnace Gas) 등의 저발열량 연료를 사용하는 것이 중요해지고 있다. 저발열량 연료가 위와 같은 장점을 가짐에도 가스터빈에 적용하기 어려운 이유로는 천연가스에 비해 발열량이 낮아 화염 안정성이 좋지 않기 때문이고 불완전 연소로 인해 일산화탄소(CO)가 증가하기도 한다 [1]. 또한 수소의 함량이 높아지면 화염전파속도가 매우 빨라져 희박 예혼합 연소를 통해 저 NO_x 운전을 하는 가스터빈의 경우 화염 역화로 인해 연소기의 주요 부품이 파손될 수 있다. 주요 저발열량 가스의 조성에 대해 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Average composition of dry low-BTU gases in [Vol-%] [2]

Fuel	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	CO	H ₂	Others
Natural gas	97.9	0.1	1				1
Biogas	65.3	34.4					0.3 (H ₂ S)
Sewage gas	60	32	5			3	
Coke-oven gas	31	1.2	1.5	1	7	55	3.3
Landfill gas	52.5	37.8	7	1		0.27	1.43
Mine gas (with dilution air)	45	2.5	42	10		0.1	0.4
Wood gas	1.5	9.1	53.2		19.2	17	
Blast furnace gas		19.5	55		20.9	4.6	

두산중공업에서는 천연가스를 사용하는 5MW급 소형가스터빈엔진을 개발하였으며 이를 통해 확보한 천연가스 연소기 기술을 바탕으로 바이오가스용 연소기를 설계 및 제작을 하였다. 본 연구에서는 새로 제작한 바이오가스용 연소기의 성능을 시험을 통해 평가하였으며 바이오가스에 포함된 메탄 농도에 따른 배기성능 변화를 알아보았다.

연소기는 반경류 이중 스윌러로 구성되며 내부 파일럿 스윌러를 통해 화염 안정성을 높이고 외부 메인 스윌러를 통해 희박 예혼합 화염을 유도하여 배기성능을 확보하게 된다. 라이너와 트랜지션 피스는 막 냉각을 사용하여 수명과 안정성을 확보하였다. 바이오가스의 주성분은 메탄과 이산화탄소이므로 시험시 천연가스와 이산화탄소를 섞어 바이오가스 연료를 모사하였다.

* 두산중공업 가스터빈개발팀

† 연락처, jihyuk.im@doosan.com

TEL : (042)712-2109 FAX : (042)712-2299

바이오가스 연소기를 연소기 시험 리그에 장착하여 성능시험을 수행하였다. 공기는 압축기를 통해 공급되며 공기 히터로 승온되어 연소기로 공급된다. 파일럿 스왈러로만 연료를 공급하여 점화를 시키고 점화 성공 여부는 UV 센서를 통해 판단하게 된다. 이후 화염이 안정되면 운전 조건에 따라 파일럿과 메인 연료량을 조절한다. 연소기 출구부에 R-Type 열전대를 장착하여 출구온도를 측정하였으며 Testo 350 XL 장비를 이용하여 배기가스 분석을 수행하였으며 NO_x와 CO의 측정 오차는 5 ppm 이내이다. 연소기 시험 리그의 개략도를 Fig. 1에 나타내었으며 시험 조건은 Table 2와 같다. 연료 분배비는 총 연료량에 대한 파일럿 연료량으로 정의된다.

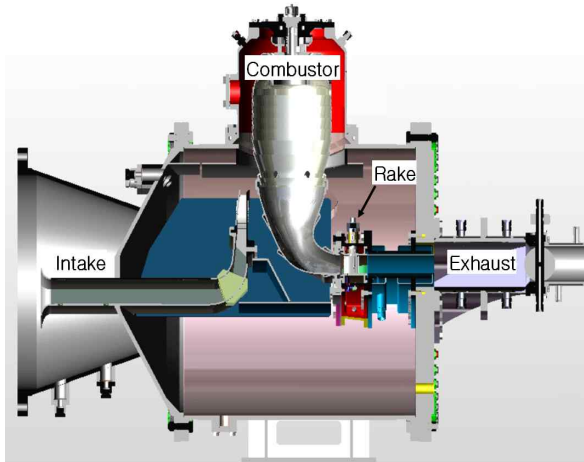


Fig. 1 Schematic of combustor test rig.

Table 2 Experimental Conditions

Parameter	Value
LHV (kJ/kg)	24000~33500
Load (%)	70~100
Inlet Temperature (K)	~668
Volumetric Air Flowrate	~0.33
Equivalence Ratio	~0.347
Fuel Distribution Ratio	0~0.3

Fig. 2에 100% 부하조건에서 연료의 저위발열량(LHV)에 따른 압력손실 결과를 나타내었다. 연료의 LHV는 메탄과 CO₂의 혼합비율에 따라 결정되며 LHV가 높을수록 연료에 메탄이 많이 포함된다. LHV가 31,000인 경우에 약간 높은 경향을 보여주지만 전체적으로 연료 분배비에 관계없이 일정한 값을 나타내고 있다. 또한 설계 목표에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 압력 손실은 연료의 메탄 농도에 관계없이 비슷한 값을 보여준다고 할 수 있다.

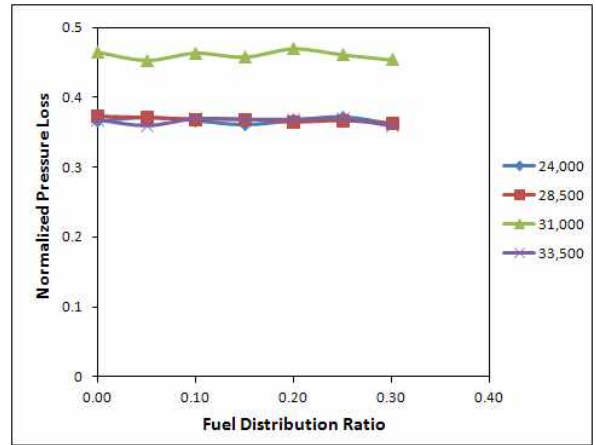


Fig. 2 Normalized pressure loss with varying LHV at 100% load condition ($T_{\infty} = 15^{\circ}\text{C}$)

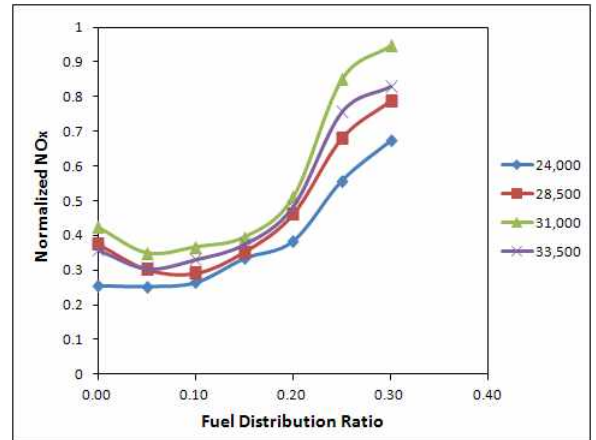


Fig. 3 Normalized NO_x emission with varying LHV at 100% load condition ($T_{\infty} = 15^{\circ}\text{C}$)

Fig. 3에 연료의 LHV에 따른 NO_x 배출량을 나타내었다. 연료의 LHV가 증가함에 따라 NO_x 배출량은 약간 증가하는 경향을 보이지만 큰 차이는 없는 것으로 보인다. 연료의 LHV가 증가하면 CO₂ 포함량이 줄어들기 때문에 연료의 inert 가스량이 줄어 국소 온도가 증가하여 NO_x가 증가하는 것으로 보인다. 모든 연료 LHV 경우에 대해 연료 분배비 0.1 부근에서 NO_x 배출량이 최소값을 가지는 것으로 확인되었다. 총 NO_x 배출량은 파일럿 스왈러에 의해 생성되는 화염에 의한 파일럿 NO_x와 메인 스왈러에 의해 생성되는 화염에 의한 메인 NO_x의 합으로 계산되는데 연료 분배비가 감소함에 따라 파일럿 연료량이 감소하여 파일럿 연소 영역의 온도 감소로 인해 파일럿 NO_x가 감소된다. 연료 분배비를 감소시키면 파일럿 연료를 감소하지만 총 연료량은 일정하기 때문에 메인 연료량이 증가하게 되고 이에 따라 메인 NO_x가 점차 증가한다. 연료 분배비를 0.1까지 감소시키게 되면 메인 NO_x 증가에

비해 파일럿 NO_x 감소량이 더 커 전체 NO_x 발생량은 감소하지만 연료 분배비가 0.1 이하로 더 줄어들게 되면 파일럿 NO_x 감소량보다 메인 NO_x 증가량이 더 커지게 되어 전체 NO_x 발생량이 증가하는 것으로 보이며 이에 따라 연료 분배비 0.1 부근에서 전체 NO_x 발생량은 최소값을 가지게 된다.

본 연구에서는 바이오가스의 메탄 농도에 따른 연소기 성능을 살펴보았다. 주어진 메탄 농도 범위에서 압력 손실을 비롯하여 배기성능까지 설계 목표를 만족함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 전력산업원천기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행된 결과이며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] M. S. A. Ishak, M. N. H. Jaafar and Y. A. Eldrainy, "The Effect of Radial Swirl Generator on Reducing Emissions from Bio-Fuel Burner System," *Modern Applied Science*, Vol. 3, No. 6, pp. 45-51, 2009
- [2] D. Bohn and J. Lepers, "Effects of Biogas Combustion on the Operation Characteristics and Pollutant Emissions of a Micro Gas Turbine," *Proceedings of ASME Turbo Expo 2003*, GT2003-38767, 2003.