

(응용기술, 항공우주/기계, 추진/연소 공학 부문)

- 국문제목 : 합성가스를 이용한 가스터빈 연소기에서의 배기배출물 특성 및 연소특성에 대한 실험적 연구
- 영문제목 : Combustion and Emission Characteristics for Synthetic Gas in a Gas-turbine Combustor

초 록

본 논문에서는 수소, 일산화탄소, 메탄을 주성분으로 하는 합성가스에 대한 가스터빈 연소성능 시험을 수행하였다. 연소시험을 위하여 모형 가스터빈 연소기를 제작하였으며, 입열량을 고정시킨후, 연료조성을 각각 0%부터 100%까지 변화시켜가며 연소특성 및 배기배출물 특성을 파악하고자 하였으며, OH-자발광 촬영 및 Abel 변환 기법을 이용하여 화염의 특성 또한 파악하고자 하였다. 연소불안정을 나타내는 연료 조성을 확인하고 연소기에 영향을 미칠 수 있는 온도 특성을 파악하여, 연소불안정을 피해야하는 당위성을 입증하고자 하였다. 또한 NO_x, CO 등 배기배출물 측정을 통하여, 연료조성에 대한 배출 특성을 파악하였고, 인공신경망 네트워크를 구성하여 배출에 대한 예측을 함께 수행하였다. 본 연구를 통하여 실 운전조건에서의 화염 안정성, 연소효율의 증대 등을 모색해볼 수 있으며, 운전 제어 및 모니터링에 활용될 수 있는 지표로 활용이 될 수 있을 것이다.

Key words: Synthetic gas, Gas turbine combustor, Artificial network modeling, Exhaust gas emission

1. 서론

최근 많은 에너지 소비 및 높아지는 오존 농도, 평균기온의 상승 등과 같은 기후 변화에 대한 높은 관심이 점점 부각되고 있는 추세에 에너지 기후시대에 대한 준비는 이제 생존에 관한 필수적인 문제로 자리 잡고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 엔진효율의 향상, 새로운 추진연료에 대한 개발 등 다방면으로 해결책을 모색하고 있다. 특히 차세대 연료로 바이오 가스, syngas 등 합성가스를 이용한 발전 및 추진에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 한편 전력 에너지 분야에 있어서도 청정 발전 및 청정 에너지 생산 기술이 크게 각광받고 있고, 이로부터 생산되는 합성가스 및 합성 천연가스에 대한 점유율이 점점 상승하고 있는 실정이다. 하지만 새로운 연료

의 적용은 연소 시스템의 설계변경이 반드시 필요하며, 이에 따른 운전방식 및 연소특성이 달라지기 때문에 이에 대한 기초 및 선행 연구가 반드시 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 새로운 차세대 연료의 적용에 앞서 가스터빈 연소기에서의 연소특성을 파악하고, 운영상의 문제점 및 유의해야 할 사항을 조기에 밝혀, 실 가스터빈 작동에 있어 안정적인 운영 및 성능 증대에 그 목적이 있다.

합성가스의 주 성분은 수소, 일산화탄소이며, 소량의 메탄이 함유가 되어있다. 하지만 가스화를 거치기 이전의 석탄의 종류, 원산지, 생산 방법등에 따라 다양한 조성을 갖고 있다. 이러한 다양한 연료 조성은 각각의 조건에 따라 연소특성 및 배기배출물의 특성이 다양하게 나타난다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 수소, 메탄, 일산화탄소의 조성을 0%부터 100%까지 변화시켜가며, 화염의 특성, 온도, 동압, 배기배출물 등의 연소 특성을 파악하여 연소 시스템의 안정성을 높이고자 했다. 또한 인공지능망을 이용하여 배기 배출물과 실험 조건을 이어주는 모델링을 수립해보았고, NOx, CO 배출물을 예측하는 연구를 수행하였다.

2. 실험 방법

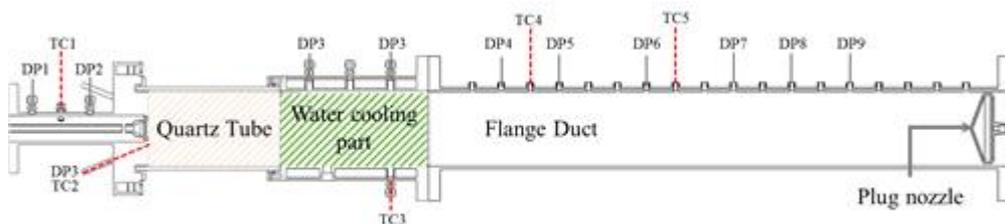


Fig. 1 Schematic Diagram of Model Gas Turbine Combustor

합성가스의 연소시험을 하기 위하여 모사합성가스를 조합할 수 있고, 부분 예혼합 화염 연소를 수행할 수 있는 가스터빈 연소기를 구축하였다. 연소시험 설비는 크게 가스 공급장치(mass flow-rate controller), 공기 가열 장치, 가스터빈 연소기, 배기가스 계측 시스템으로 구성이 되어있다. 가스 공급 장치는 수소, 일산화탄소, 메탄, 공기등을 혼합하여 유량 조절하여 공급할 수 있도록 구성을 하였고, 연소용 공기는 실제 가스터빈 압축기 출구와 유사하게 모사하기 위하여 356도씨로 예열하여 공급할 수 있도록 이중 플렌지식 에어히터를 설비하였다. 연소기부에서 노즐은 GE사가 제작한 터빈입구 온도기준 1100도씨에 대한 노즐인 GE7EA을 1/3 스케일에 대하여 축소하여 제작한 후 가스터빈 연소기에 장착하였다. 또한 화염의 가시화를 위하여 200mm 석영관을 설치하였고, 열응력에 의한 파손을 막기 위하여 냉각용 공기를 공급하여 냉각시켜주었다. 배기가스 계측 시스템은 화학반응의 평형상태에 이른다고 가정할 수 있는 연소기 후단에 TESTO 360 가스분석기를 설치하여 NOx, CO등의 배기 배출물을 실시간으로 계측할 수 있도록 구성하였다. 실험 조건은 그림 1과 같이 수소, 일산화탄소, 메탄을 0%부터 100%까지 12.5%씩 변화시켜가며 입열량 한 조건에 대해서 총 45개의 case study를 수행하였으며, 당량비에 대한 연료조성의 연소특성을 확

인하기 위하여 표 1에 대한 연료조성을, 당량비 0.7부터 1.3까지 1.0씩 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

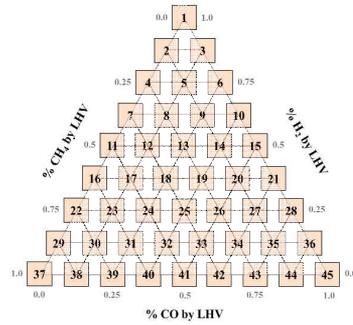


Fig. 2 Ternary diagram of test conditions

Fuel	H ₂	CO	CH ₄
Mole fraction [%]	0	0	100
	25	0	75
	50	0	50
	75	0	25
	25	25	50
	50	25	25

Table 2. Experimental Fuel compositions.

3. 실험결과 및 토의

수소, 일산화탄소, 메탄의 합성가스에서 다양한 연료조성에 대한 연소 특성시험을 가스터빈 부분 예혼합 연소기에 대하여 수행하였고, 당량비에 따른 합성가스의 연소 특성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫 번째, 확산화염과 다르게 부분 예혼합화염에서는 화염의 온도가 높을수록, 화염의 길이가 짧아질수록 EINO_x의 배출량이 늘어난다. 이는 같은 열량의 연료 조성에서 화염의 길이가 짧아졌을 때 국소적으로 발생하는 높은 온도의 영향으로 NO_x 발생의 주요 메카니즘은 thermal NO_x로 예측할 수 있다.

두 번째, 다양한 연료조성에 대한 화염의 특징을 파악하기 위해서는 단순 OH 자발광이 아닌 OH, CH, C₂ 자발광 이미지를 중첩시켜 얻어낸 이미지로부터의 화염 분석이 더 효과적임을 파악하였다.

세 번째, 인공지능망 분석을 통하여 본 연구에서 사용된 노즐에서의 NO_x 배출은 화염의 온도, 화염의 길이가 주요한 영향을 미치는 것으로 분석이 되었으며, OH, CH, C₂ 자발광 이미지로부터 얻

어낸 화염의 길이가 배기배출물을 예측하는데 더 유용하다는 것을 파악하였다.

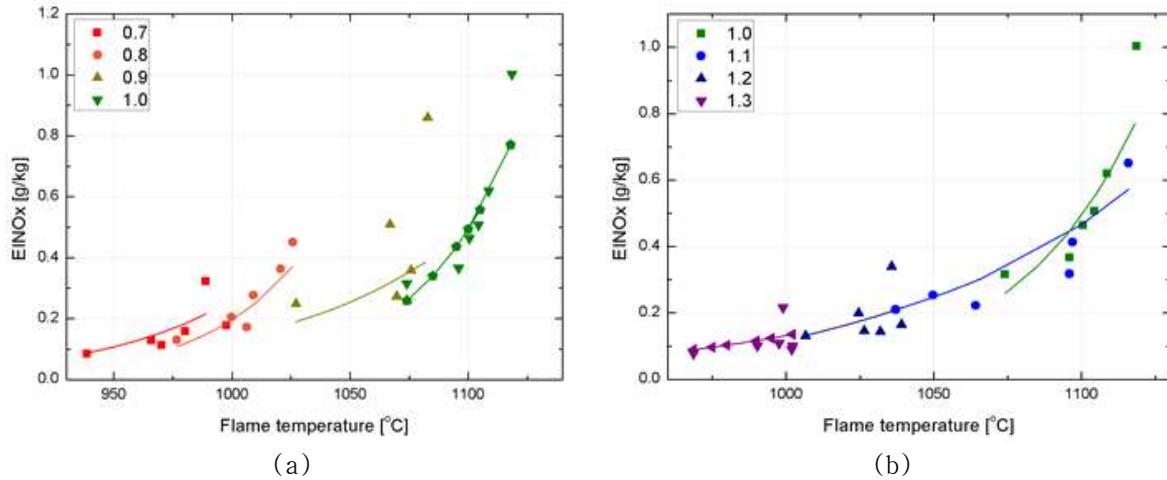


Fig. 3 EINOx with respect to flame temperature

(a) at fuel lean (b) at fuel rich.

입열량에 대한 다양한 연료조건에서의 연소 특성은 다음과 같이 결론지을 수 있다.

첫번째, NOx 발생량은 합성가스의 수소 함량이 높아질수록 증가하였으며, 이는 연소화염 온도와 화염의 형태에 따라 화염의 온도에 의한 영향과 화염 체류시간에 의한 영향이 서로 상이하게 나타나는 것을 확인하였으며, CO 발생은 대부분의 영역에서 3ppm 미만의 약한 배출이 일어나는 반면에 CO 연료 100% 구간에서는 미연소된 연료가 그대로 방출되는 형태로 배기배출물이 검출이 되었다.

두번째, 수소와 메탄 연료조성에서 연소 불안정에 의한 연소진동이 발생하는 것을 확인하였으며, 부하가 높아질수록 전 영역으로 넓어지는 것을 확인하였다. 또한 덤프면의 온도를 측정하여 연소 불안정이 발생할 경우 연소기에 미치는 영향을 판단해보았으며, 수소 연료의 concentration 이 높아질수록 high mode로의 연소불안정 frequency가 천이되는 경향을 파악하였다.

세번째, OH-radical과 Abel-inversion을 사용하여 화염의 부피를 측정하였고, 이를 이용하여 비선형 관계의 모델링을 수행할 수 있는 인공신경망 기법에 의한 NOx, CO예측을 수행해보았으며, correlation coefficient가 0.8이상으로 예측이 효율적으로 잘 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 인공신경망을 이용한 예측에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 더 많은 input data 즉 실험 값을 얻기 위해 다양한 연소 환경에서 실험을 수행할 예정이다.

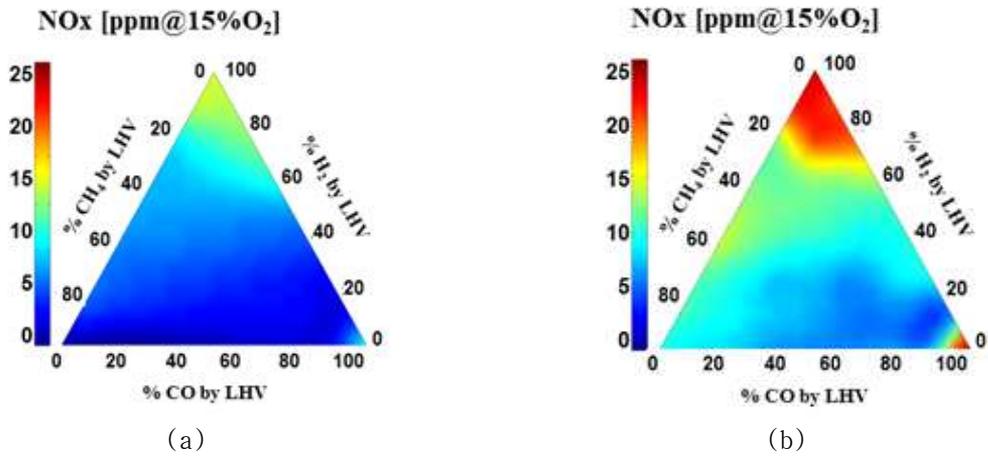


Fig. 4 NOx emissoin (a) at 40kW, (b) at 50kW

4. 결론

합성가스용 가스터빈 연소기는 많은 발전을 이루어 왔지만, 수소를 포함한 연료의 비선형적인 거동으로 인해 여전히 운용상에서 많은 문제점을 갖고 있다. 게다가 현재 합성가스 등의 신연료에 대한 가스터빈 연소시험 결과 및 데이터는 대부분 상용급 가스터빈 제작사들에게만 국한되고 있기 때문에 새로운 가스터빈 개발과 운용에 있어서 이러한 많은 기초연구가 절실히 필요한 현실이다. 이러한 문제점 및 한계점을 해결하기 위하여 다양한 연료 조성에서 여러 가지 변수를 변화시켜가며 연소 특성을 파악하는 연구를 수행하였다. 실제 이론과 실험적 결과와의 비교를 통하여 실질적으로 이용가능한 실험 데이터를 얻고자 노력하였다. 또한 인공지능망을 가스터빈에 도입하여 배기배출물 및 연소 최적화를 수행할 수 있도록 새로운 아이디어를 제공하고자 하였다. 이러한 실험적 결론은 실제 발전사 및 항공용 엔진개발에 많은 영향을 줄 수 있는 기초자료로 사용될 수 있을 것이라고 생각된다.