

EGR 시스템을 적용한 린-리치 연소시스템의 공해물질 배출 특성 연구

오휘성* · 유병훈** · 김종현*** · 이창언**†

The Pollutant Emissions Characteristics of Lean-Rich Combustion System with Exhaust Gas Reciculation

Wheesung Oh*, Byeonghun Yu**, Jong-Hyun Kim***, Chang-Eon Lee**†

ABSTRACT

Lean-rich combustion system was composed both fuel-lean and fuel-rich flame at once. Each of fuel-lean and fuel-rich combustion types to reduce Thermal NO_x and obtain flame stability. This study was confirmed a stability of flame through variation of flame shape that EGR was applied and compared the emission characteristics of EGR lean-rich combustion system to normal premixed combustion system at real condition to review a utility of the system. As a result, emission index of NO_x and CO generated from EGR lean-rich combustion system at global equivalence ratio is 0.85 just half level(NO_x 0.31 g/kg, CO 0.08g/kg) compared to the amount generated from normal premixed combustion system at equivalence ratio is 0.78.

Key Words : EGR lean-rich combustion system, Exhaust Gas Recirculation(EGR), fuel-lean combustion, fuel-rich combustion, NO_x emission index(EI_{NO_x})

대기환경 관련 정책의 기준이 점차 강화됨에 따라, 기존 연소시스템의 배출성능 개선이 요구되고 있다. 특히, 연간 연료 사용량이 산업용 보일러에 비해 2.5배나 많으며, 공해물질의 배출이 상당함에도 불구하고 별다른 규제를 받고 있지 않았던 가정용 보일러가 그 대상이 되고 있다[1]. 이에 배출성능이 우수하고 화염의 길이가 짧아 소형 연소기에 적합한 예혼합 연소시스템이 대안으로 주목 받고 있으며, 그중에서도 메탈화이버형 예혼합 연소시스템은 배출성능이 우수하고 화염안정성이 뛰어나기 때문에 예혼합 연소시스템을 사용하는 대부분의 보일러에 적용되고 있다. 하지만 주요 소재를 전량 수입에 의존하는 메탈화이버 버너는 높은 원자재 가격에 의해 상용화에 어려움을 겪고 있다. 이러한 이유로 근래에 연구되고 있는 것이 린-리치 연소시스템이다[2, 3]. 린-리치 연소시스템은 희박한 조건의 화염과 과농한 조건의 화염을 동시에 구현한 것으로 희박 연소방식에 의해 Thermal NO_x 를 저감하고[4], 과농한 조건의 화염을 이용하여 화염 안정성을 확보한 시스템이다. 린-리치 연소시스템은 배출성능이 가장 우수하다고 알려진 메탈화이버를 이

용한 예혼합 연소시스템보다 배출성능은 떨어지지만, 제작이 용이하여 경제적으로 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다. 상기와 같이 경제적인 부분에서 장점을 갖는 린-리치 연소시스템의 배출성능을 개선할 경우, 예혼합 연소시스템의 보급을 확대하고 가정에서 발생하는 공해물질의 배출농도를 크게 저감할 수 있을 것으로 사료된다. 이에 본 연구진은 린-리치 연소시스템에 배기가스 재순환 방식(Exhaust Gas Recirculation, EGR)을 적용하여 적은 비용으로 우수한 배출성능을 확보하고자 하였다. 이를 위해 두 개의 동 축 노즐을 이용하여 린-리치 화염을 형성하고 조건을 변화시키면서 린-리치 화염의 연소 특성에 대해 관찰하였으며, 최종적으로 EGR 방식을 적용한 린-리치 시스템의 배출성능과 기존 예혼합 연소시스템의 배출성능을 비교, 검토하여 린-리치 연소시스템의 저공해 운전조건에 대한 설계인자를 확보하고자 하였다.

Fig. 1은 희박 연소 측의 당량비와 배기가스 재순환율 변화에 따라 형성된 화염을 도시한 것이다. 조건 변화에 따라 희박 연소 측의 당량비가 감소하는 경우 공급되는 유량이 증가하면서 화염의 길이가 신장되는 것을 확인할 수 있었으며, 더불어 과농 연소 측의 당량비의 상승과 함께 미연가스가 발생하여 희박 연소 측의 화염면과 과농 연소 측의 화염면 사이에 추가적인 화염면이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한,

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 인하대학교 기계공학과

*** 한국승강기대학교 승강기 안전관리과

† 연락처, chelee@inha.ac.kr

TEL : (032)860-7323 FAX : (032)876-7838

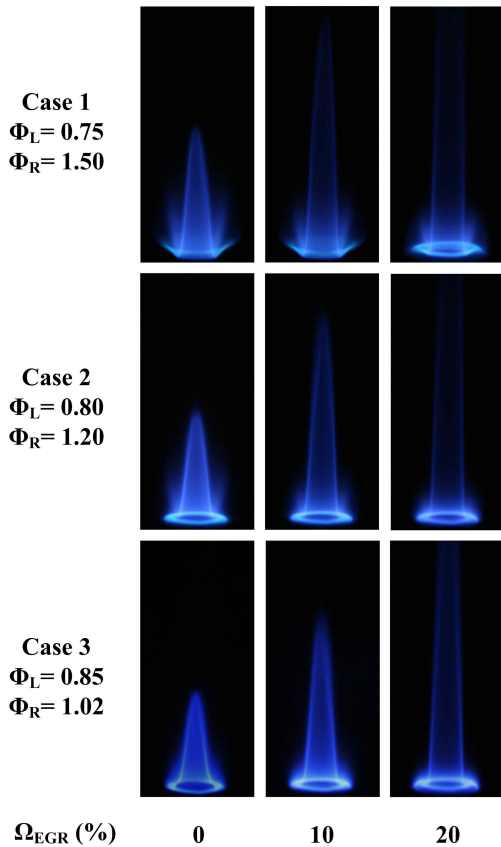


Fig. 1 Shapes of the flame with various EGR ratios and lean-rich fuel ratio at global equivalence ratio is 0.90 and lean-rich fuel ratio is 2:1

혼합기가 농후해 짐에 따라 산화제와의 접촉면을 넓히기 위해 화염 상단이 노즐림으로부터 떨어지는 것을 관찰 할 수 있었다. 마지막으로 배기가스 재순환 율이 증가함에 따라 유량의 증가로 화염의 길이가 신장되고 화염의 최고점 온도가 낮아지면서 무화염 현상이 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 2는 EGR 방식이 적용됨에 따라 린-리치 연소시스템의 NO_x 및 CO의 분포 변화를 도시한 것이다. 그래프에 사용된 데이터는 안정적인 화염을 형성한다고 볼수 있는 CO가 증가하기 직전까지의 EI_{NOx} 및 EI_{CO} 데이터를 사용하였다. 그래프에서 알 수 있듯이, 린-리치 연소시스템에 EGR 방식을 적용함에 따라 다양한 조건에서 측정된 데이터들이 왼쪽 하단으로 이동 한 것을 알 수 있는데, 이는 EGR 방식이 적용되어 린-리치 연소시스템의 배출 성능이 개선되었음을 의미한다. 뿐만 아니라, 많은 경우에서 실 운전조건($\phi=0.78$)에서 운전된 예혼합 연소시스템의 배출성

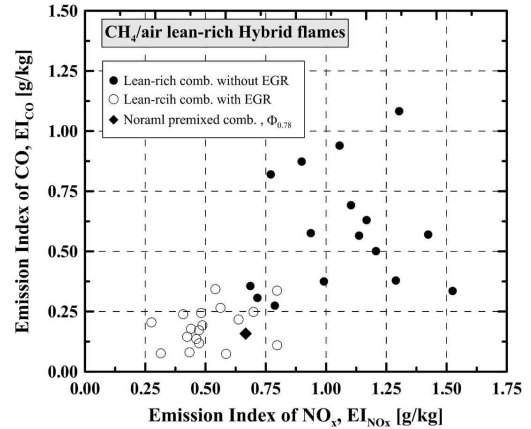


Fig. 2 NO_x and CO distribution map of fuel lean-rich combustion system with EGR

능(NO_x 0.67 g/kg, CO 0.16 g/kg)보다 우수한 배출성능을 보이고 있으며, 최대 절반 수준의 배출성능(NO_x 0.31g/kg, CO 0.08 g/kg)을 보이고 있다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012R1A2A2A01013884)이며 일부 인하대학교 자동차동력계부품 지역혁신센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Korea environment Corporation, “Low NO_x burner approval test and performance verification test,” web address: http://www.keco.or.kr/en/core/prevention_vapor/contentsid/2020/index.do
- [2] W. Lee and D. Seo, “A study on the stability of Rich/Lean Methane Premixed Flame”, Transaction of the KSME B. Vol 13, 2005, pp. 170-177.
- [3] T. Shudo and O. Hiyama, “NO_x reduction and NO₂ emission characteristics in rich-lean combustion of hydrogen”, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 33, 2008, pp 4689-4693.
- [4] S.R. Turns, “An Introduction to Combustion: Concepts and Applications”, McGraw-Hill, 2000, Singapore.