

Pilot급 복합 열캐리어 연소기의 운전 안정화를 위한 최적화 운전 변수 시험

정석우, 정기진, 권인구, 윤성필
 고등기술연구원 플랜트공정개발그룹
 e-mail: swchung@iae.re.kr

Optimization of operating parameters for stabilizing operating pressure in a pilot-scale direct contact steam generator

Seok-Woo Chung, Ki-Jin Jeong, In-Goo Kwon, Sung-Pill Yun
 Plant Process Development Group, Institute for Advanced Engineering

요약

본 연구에서는 Pilot급 복합 열캐리어 연소기의 운전압력 안정화를 위한 운전 변수 최적화 시험을 수행하였다. 시험 장치는 약 20 bar 운전 압력 조건에서 천연가스(CNG)와 산소(O₂)를 연료 및 산화제로 사용하여 연소 반응을 형성하고, 여기에 물을 직접 분사하여 스팀과 연소가스 혼합 유체를 생성하는 구조로 구성되어 있다. 정상 운전 조건에서 CNG 공급량은 약 73.5 Nm³/h, 산소 공급량은 161 Nm³/h, 물 공급량은 약 786 kg/h 수준으로 운전되었으며, 연소기 내부에서 공급된 물의 대부분이 기화되어 약 90% 이상의 스팀과 연소가스 혼합 유체가 생성되는 조건에서 시험이 수행되었다. 기존 운전 방식에서는 물 공급 라인에 control valve를 이용한 유량 제어 방식을 적용하였으나, 본 연구에서는 유량 제어 과정에서 발생할 수 있는 동적 변동을 최소화하기 위하여 Equilibar 기반의 정압 제어 방식을 물 공급 시스템에 적용하였다. 그리고 두 운전 방식에 대해 연소기 내부 압력 변화와 배출 배가스 유량 변동 특성을 비교 분석하였다.

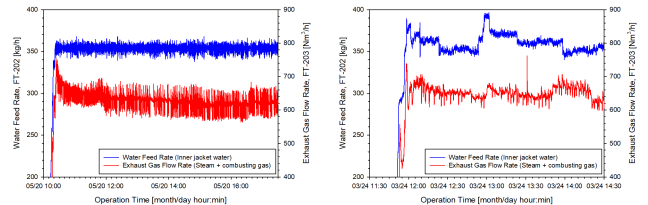
2. 실험 내용 및 결과

1. 서론

복합 열캐리어 연소기(Direct Contact Steam Generator, DCSG)는 연료와 산화제를 이용한 연소를 통해 생성된 고온 연소가스와 물을 직접 접촉시키는 방식으로 스팀을 생산하는 기술로, 기존의 간접 가열 방식 스팀 발생기 대비 높은 열전달 효율과 낮은 물 소비량을 동시에 확보할 수 있는 장점을 갖는다. 특히 오일샌드 및 중질유 회수 공정인 SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage) 공정에서 스팀과 연소가스를 동시에 저류층에 주입할 수 있어 에너지 효율 향상 및 탄소 저감 측면에서 활용 가능성이 높은 기술로 평가되고 있다.

그러나 DCSG는 연소가스와 물이 동일 공간에서 직접 접촉하며 스팀이 생성되는 구조적 특성으로 인해 운전 조건 변화에 따라 연소기 내부 압력의 동적 변동(dynamic pressure fluctuation)이 발생할 수 있으며, 이는 배출되는 스팀 및 배가스 유량의 변동을 유발하여 공정 운전 안정성에 영향을 줄 수 있다. 특히 Pilot급 연소기 운전 과정에서 압력제어밸브(back pressure control valve)를 이용한 압력 제어 시 물 공급 유량의 미세한 변동이 연소기 내부의 기상/액상 상호작용을 변화시켜 압력 변동이 증폭되는 현상이 관찰되었다.

운전 조건별 시험 결과, 기존 control valve 방식에서는 연소기 내부 압력 제어 과정에서 주기적인 압력 변동이 발생하였으며, 이에 따라 배출되는 스팀 및 배가스 유량에서도 일정 수준의 fluctuation이 관찰되었다. 반면, 물 공급 시스템에 Equilibar를 적용한 경우 공급 유량의 변동성이 감소하면서 연소기 내부 압력 변동 폭이 감소하였으며, 이에 따라 배출되는 배가스 유량 또한 보다 안정적인 거동을 나타내는 것을 확인하였다. 특히 동일한 연료 및 산화제 공급 조건에서 연소기 압력 편차와 배출 유량 변동 폭이 감소하여 시스템 운전 안정성이 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 콘트롤밸브 적용 (b) 이퀄리바 적용
 [그림 1] 물/배가스 유량 변동 시험 결과 비교

사사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (과제번호 RS-2022-00143541)