한국에너지공학회(2000년도)
추계 학술발표회 논문집 P45~48

운전변수에 따른 중잔유의 가스화반응 특성연구

나혜령, 주지선
고등기술연구원, 플랜트엔지니어링센터

Numerical Study for the Gasification Reaction of Heavy Residual Oil with Operating Conditions

H.R. Na, J.S. Ju
Institute for Advanced Engineering, Plant Engineering Center

1. 서론

중잔유는 다른 유류나 석탄에 비해 높은 황 함유율을 나타내는 특징을 지닌 원유 정제 후 남는 잔여물질로서 환경적인 측면에서 볼 때, 유황제거효율이 높은 시스템의 연료로 사용하는 것이 타당하고, 지속적으로 강화되고 있는 대기오염물질의 환경규제를 만족시키기 위해 가스화 복합발전 시스템의 연료로서 사용하는 것이 중잔유의 활용도 측면에서도 매우 유리한 점을 가지게 된다. 이미 기술 선진국을 중심으로 중잔유의 활용방안에 대한 연구 및 실용화 단계가 진행중이며, 특히, 전량 수입에 의존하고 있는 원유의 활용을 극대화해야 하는 우리의 입장에서는 환경적인 측면 못지않게 경제적인 측면도 고려하여 연료로서의 중잔유의 사용 타당성을 판단하는 것이 매우 중요하다고 하겠다.

본 연구에서는 중잔유를 연료로 하는 상용화급 가스화기를 대상으로 하여 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)방법론을 적용한 연구를 통해 고온/고압의 가스화기 내에서 일어나는 가스화 반응 특성을 파악하고자 하였다. 특히, 반응에 영향을 주는 여러 변수중 산화제/연료의 비, 증기/연료의 비를 해석변수로 선정하여 가스화기 성능 및 생성가스 조성 변화를 예측함으로써 중잔유를 연료로 사용하는 가스화 반응유동장을 파악함으로써 궁극적으로 가스화기의 적절한 운전조건을 제시하고자 한다.

2. 수학적 모델 및 해법

중잔유 가스화기 내부에 형성되는 유동장의 기상지배방정식은 2차원 축대칭 좌표계에서 아래와 같은 편미분방정식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u\phi})+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\overline{\rho v\phi})-\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_\phi\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)-\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\Gamma_\phi\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)=S_\phi$$

윗 식에서 x는 축방향, r은 직경방향의 거리를 나타내며, ϕ는 일반 종속 변수로서 각 방향에 대한 속도 성분(u,v), 난류 운동 에너지와 이의 소멸율(k, ε), 엔탈피(h) 및 화학종 (m_i) 등을 나타낼 수 있으며, ρ는 기체의 밀도, Γ_ϕ와 S_ϕ는 종속 변수에 대한 확산 계수와 생성항을 각각 나타낸다. 난류 모델은 $k-\varepsilon$ 모델을, 복사 모델은 P-1 모델을 사용하였고, 가스상 난류 반응 모델은 혼합 분율(f) 및 확률 밀도 함수(PDF)를 이용한 보존 스칼라 모델

을 사용하였다. 중잔유의 반응은 중잔유 액적이 온도가 증가함에 따라 증발(vaporization) 및 비등(boiling)에 의해 기화되어 기상으로의 물질 및 열전달이 이루어진 후 계산되도록 하는 액적반응모델을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구의 적용 대상인 중잔유 가스화기는 상단공급방식 원통형 가스화기로 형상을 2차원화하여 해석하였다. 연료인 중잔유는 일차주입노즐 영역에서 분사되며, 이차주입노즐에서는 산화제(95% O_2)가 공급되도록 하였다. 대상 연료의 성분 특성을 아래의 Table 1에 간략히 나타내었으며, 해석변수로는 가스화 반응에 커다란 영향을 주는 산화제/연료의 비를 0.6, 0.8, 1.04*, 1.2 1.4의 5가지 경우로, 증기/연료의 비를 0.1, 0.31*, 0.5의 3가지 경우로 변화시켜 전산해석을 수행하였다.(* : standard condition)

Table 1. Composition of heavy residual oil

Proximate Analysis(%)	Moisture	0.01
	Volatile Matter	79.71
	Ash	0.20
	Fixed Carbon	20.08
Ultimate Analysis(%)	C	83.03
	H	9.77
	N	0.68
	S	6.27
	O	0.04
	Ash	0.20
	Moisture	0.01
Gross heating value(Kcal/kg)	9628	

본 연구의 중잔유 가스화기 운전 조건, 특히 산화제/연료 비, 증기/연료 비의 변화에 따른 반응장 유동특성에 대한 전산해석 결과는 아래와 같다.

Fig. 1은 산화제/연료비의 변화에 따라 가스화기 성능을 평가하기 위해 탄소전환율을 나타낸 것으로 산화제의 양에 따라 매우 민감한 반응을 나타내고 있다. 가스화기내로 공급된 산화제의 양은 연소생성물인 CO_2, H_2O의 양을 결정할 뿐만 아니라 가스화기 온도도 결정하기 때문에 산화제의 공급량이 가스화 특성에 가장 직접적으로 영향을 미친다. 따라서 산화제를 적절히 공급하여 가스화기 온도를 고온으로 유지하면서 CO_2, H_2O와 중잔유의 미반응 탄소분과의 가스화 반응을 충분히 지속할 수 있도록 운전하는 것이 매우 중요하다. 너무 낮은 산화제/연료의 비에서 가스화기를 운전하면 가스화기의 온도도 낮을 뿐 아니라 CO_2, H_2O 발생량도 적으므로 반응하지 않은 탄소분이 다량 남아있게 된다. 반면, 과잉의 산화제 공급은 탄소전환율은 높으나, 연소 반응을 우세하게 하여 가스화 반응의 주성분인 CO 및 H_2를 적게 발생시키는 결과를 가져오게 된다. 해석결과로부터 산화제와 연료의 비가 1.0 이하에서는 탄소전환율이 80% 미만을 나타내고 있는데, 이는 가스화 반응이 일어나기에는 가스화기 내 온도가 매우 낮게 형성되어 반응하지 못하고 남아있는 탄소분이 많기 때문으로 판단된다. 그러나, 산화제의 양이 증가할수록 가스화기내 온도가 높아지고, 가스화 반응의 환원제 역할을 하는 연소 생성물이 충분히 공급되기 시작하면서 미반응 탄소분이 감소하여 산화제/연료 비가 1.2 이상에서는 99% 이상의 높은 탄소전환율을 보이고 있다.

Fig. 2에는 산화제의 공급량 변화에 따라 가스화기에서 발생되는 주요 생성가스의 발생량을 나타내었다. 이 결과를 살펴보면, 산화제/연료 비 0.6-1.0 영역에서는 중잔유의 미반응

탄소분의 가스화 반응에 의한 생성물인 CO 및 H_2의 점진적인 발생량 증가를 볼 수 있다. 그리고, 대략 1.0 이상의 영역에서는 CO 및 H_2의 발생량이 서서히 감소하기 시작하고 있음을 확인할 수 있는데, 이것은 산화제의 공급이 증가함에 따라 가스화 반응보다는 연소 반응이 우세하게 일어나기 때문으로 판단된다. 그리고, 산화제/연료 비 0.6 부근에서 CO와 H_2 함량이 약간 높게 나타난 이유는 중잔유의 휘발분에서 생성되는 가스 중 CO와 H_2의 함량이 상대적으로 높게 생성되었기 때문이다.

Fig. 3과 Fig. 4는 산화제/연료 비가 표준조건에서 증기/연료 비에 따른 온도장 및 생성가스 조성을 나타낸 결과이다. 증기는 가스화 반응에서 생성가스의 조성 및 온도를 결정하는 반응물로 본 연구에서는 0.1, 0.31, 0.5의 세가지 경우로 변화시켜 해석을 수행한 결과, 공급되는 증기량이 증가할수록 가스화기 출구에서의 온도는 감소하였으며, 가스화기내 탄소전환율은 증가하는 경향을 보여주었다. 특히, 생성가스의 조성을 볼 때, 수성가스 전환반응(water-gas shift reaction)에 의해 CO는 점차 감소하는 경향을 보이는 반면, CO_2 및 H_2 는 미약하나마 그 양이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 가스화기의 운전조건 중 산화제/연료, 증기/연료 비의 변화에 따른 중잔유의 반응유동장 형성시 가스화 성능 및 생성가스의 조성 변화를 예측하였다. 해석 결과 산화제의 공급량이 가스화기내 온도 및 가스화 반응 생성물질의 조성을 결정하는데 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단되었으며, 증기공급량도 가스화 반응에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 생성가스의 조성을 고려할 때, 산화제/연료의 비가 1.0 근처에서 가연성 가스인 CO와 H_2의 생성이 비교적 높게 나타났다. 추후, 보다 넓은 범위와 세분화된 변화를 고려한 해석을 수행하여, 중잔유 가스화기의 운전변수에 대한 전산해석 데이타를 구축할 예정이다.

참고문헌

1. Fumihiko Tamamushi, Mikio Shimojo and Naggatoshi Fujii, "Study of Heavy Oil Gasification for IGCC", JSME International Journal, Series B, Vol.41, No. 4, 1998.
2. Liebner, W. and Hauser, N. : "Optimizing/Costing Study for a 500 MW IGCC Power Plant based on the Shell Gasification Process", EPRI, Gasification Technologies Conference, 1996.
3. 이승종, 윤용승, 유진열, 서인준 : "중잔유의 500MW급 가스화 복합발전 적용 성능평가", 화학공학, 제37권, 제5호, 1999.

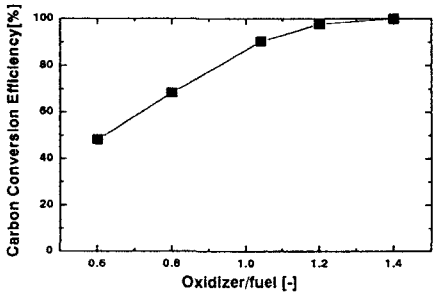

Fig. 1 Carbon conversion efficiencies in terms of steam/fuel ration

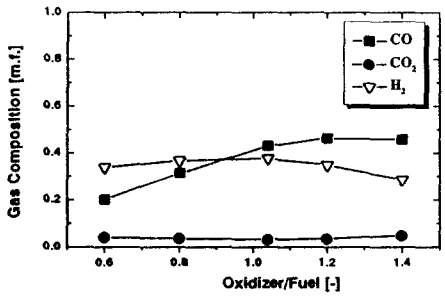

Fig. 2 Comparison of gas composition in terms of oxidizer/fuel ratio

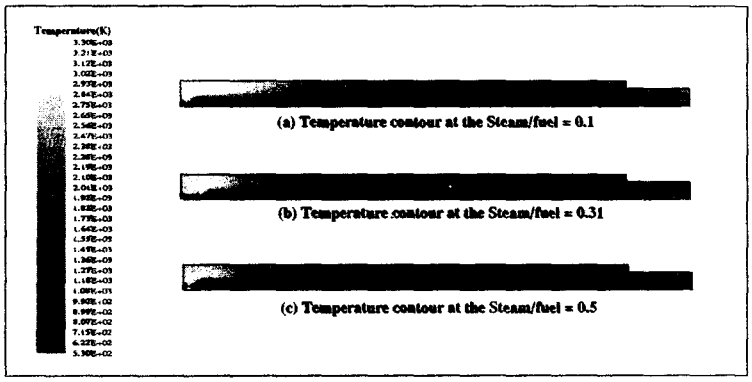

Fig. 3 Temperature contours in terms of Steam/fuel ratio

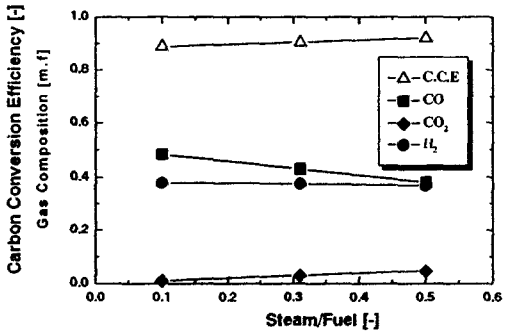

Fig. 4 Comparison of gas composition and carbon version efficiency in terms of steam/fuel ratio