

오리멸전 사용시 가스화기내 난류반응유동장의 수치해석적 연구

나혜령, 이진욱, 윤용승
고등기술연구원 에너지/환경연구실 3팀

Numerical Analysis of Turbulent Reacting Flow inside the Gasifier Using Orimulsion

Hye Ryung Na, Jin Wook Lee, Yong Seung Yun
Institute for Advanced Engineering,
Energy & Environmental Technology Laboratory

1. 서론

환경오염의 문제를 해결하고자 국제적으로 공해물질의 배출기준이 점차적으로 강화되고 있어 이 조건을 만족시키기 위한 환경친화적인 시스템의 연구개발이 다각적으로 수행되고 있다. 그 대표적인 기술의 예가 기존의 석탄과 중유 등을 연소시키는 화력발전시스템 대신에 천연가스를 이용하거나 석탄 및 기타 연료를 가스화하여 발전 연료로 사용하는 것이다. 연료 형태 중 오리멸전은 역청에 물을 첨가한 에멸전의 상태로 되어 있는 새로운 연료로 중유와 석탄의 중간 정도의 성질을 가지고 있다고 알려져 있다. 따라서 오리멸전에는 물이 약 30%정도 섞여있기 때문에 발열량이 중유의 70%에 불과하지만 석탄과 비슷한 값을 가지고 있으므로 발전 연료로서의 사용이 가능하다. 최근에는 오리멸전의 경제적인 유용성이 확인됨에 따라 대체 에너지로서의 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 특히 Dalhousie, Namikata 등에서는 연소에 의한 분해 방법을 이용하여 발전에 이용하고 있으며, Texaco사에서는 가스화 방법에 의한 연료로서의 활용을 연구중에 있다.

본 연구에서는 새로운 대체 연료로서의 가능성이 있는 오리멸전의 복합발전 시스템의 연료로서 활용 가능성을 검토해 보고자 오리멸전 가스화기의 내부현상에 대해 전산해석방법론을 적용하여 고온의 가스화기 내부에서 일어나는 반응을 동반한 이상(two-phase) 난류유동장의 특성을 파악하고자 하였다. 특히 석탄가스화기에서와 마찬가지로 연료의 가스화 특성에 매우 커다란 영향을 줄 수 있는 산소의 양에 따른 오리멸전 가스화기의 운전 특성 및 주요한 생성가스의 조성을 분석하여 가스화 반응을 통한 연료로서의 사용 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 수학적 모델 및 해법

난류반응유동장이 형성되는 가스화기 내부의 기상지배방정식을 2차원 축대칭 좌표계에서 다음과 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 x 는 축방향, r 은 직경방향의 거리를 나타내며, ϕ 는 해석하고자 하는 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 있다. 그리고, ρ 는 기체의 밀도, Γ_{ϕ} 와 S_{ϕ} 는 종속 변수에 대한 확산 계수와 생성항을 각각 나타낸다. 난류 모델은 $k-\epsilon$ 모델을, 복사 모델은 수렴성이 좋다고 판단되는 P-1 모델을 사용하였다. 가스상 난류 반응 모델은 혼합 분율(f) 및 확률 밀도 함수(PDF)를 이용한 보존 스칼라 모델을 사용하였으며, 반응 생성물의 조성은 주어진 검사 체적 내에서 'minimization of Gibbs free energy' 방법에 의하여 계산되도록 하였다. 오리멀전은 액적 반응 모델로 증발(vaporization) 및 비등(boiling)을 통해 기화되어 액상에서 가스상으로 전달되어 계산되도록 하였다.

본 연구에서 오리멀전의 가스화반응을 전산해석하기 위해 사용된 코드는 상용 열유체 해석 소프트웨어인 FLUENT V.4.4⁵⁾ HP9000/770 워크스테이션에서 계산을 수행하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

대상 가스화기는 'top-feeding' 형태로 2차원화하여 계산하였으며, 대상 연료는 베네주엘라의 Bitor사에서 생산하는 오리멀전을 사용하였고, 연료의 원소 분석치 및 발열량은 아래의 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Typical Orimulsion Analysis Data

원소분석 (WT%, WET)		수분함량(WT%)
Carbon	60.81	28.59
Hydrogen*	7.55	
Nitrogen	0.38	
Sulfur	2.57	
Ash	0.10	
Gross Heating Value (Btu/lb)		17948 (Moisture-Free)

*Does not include hydrogen present in the water

산화제는 95% 산소를 가정하였으며, 상대적인 비교를 위해 표준 조건은 산화제와 오리멸전의 비를 0.88로 설정하였으며, 오리멸전의 초기 유입 유량은 1390(lb/hr)로 하였다. 또한 표준 조건에서 산화제의 양의 변화에 따른 반응 생성물의 조성 변화를 파악함으로써 오리멸전의 가스화 반응의 특성을 해석하고자 하였다.

Fig. 1과 Fig. 2는 산화제와 오리멸전의 비를 달리하였을 때 가스화기내 CO와 H₂의 조성 분포를 나타낸 것이다. 우선 제한된 조건이나, 0.88의 비에서 오리멸전의 가스화 반응이 가장 활발히 진행되어 연료로서의 가치가 있는 가연성 가스인 CO 및 H₂가 높게 분포됨을 알 수 있다. 즉, 액적 형태의 오리멸전이 가스화기내로 분사되어 초기 영역에서는 산소와 빠르게 반응함으로써 CO₂와 H₂O가 주로 생성되나, 후류로 갈수록 연소생성물인 CO₂와 H₂O는 산화제로 작용하여 미연탄소분과 가스화 반응을 일으켜 CO와 H₂의 농도가 증가하기 시작한다.

그러나 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 산화제의 양이 표준 조건보다 적을 경우(a) 후류에서 미연탄소분이 충분한 양의 CO₂와 반응하지 못하고 빠져나가므로 가스화 반응이 활발히 일어나지 못하고 있다. 반면, 표준 조건보다 많은 양의 산화제가 유입될 경우(c) CO의 생성이 0.88일 때에 비해 다소 낮게 나타나고 있으며, CO₂의 생성이 서서히 증가하는 경향을 보여 주므로 산화제의 증가로 인해 연소 반응이 표준 조건에 비해 점진적으로 진행되어 가고 있음을 알 수 있다. Fig. 2의 (a), (b), (c)에서는 오리멸전 가스화기내에서 후류영역으로 갈수록 미연탄소분의 가스화 반응에 의한 H₂의 생성이 증가하는 양상을 보여주고 있으며, 산화제가 증가할수록 오리멸전과의 비가 0.7일 때에 비해 출구에서는 H₂ 농도가 점차적으로 낮아지고 있음을 보여주고 있다. 이 결과로부터 생성되는 H₂의 양은 산화제의 양에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 전체적인 가스화 반응의 효율에 커다란 영향을 미침을 확인할 수 있었다. Fig. 3에서는 산화제와 오리멸전의 비에 따른 출구 지점에서의 주요 생성물의 농도 분포를 프로세스 시뮬레이션(ASPEN)과 비교한 값을 보여주고 있는데, 비교적 잘 맞는 경향을 보이고 있으며, 앞으로 보다 세밀한 산화제와 오리멸전과의 비에 대한 계산을 통해 산화제의 양에 따른 가스화 반응의 진행 정도를 명확히 파악할 수 있다고 판단된다.

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 복합발전시스템의 대상 연료로서의 오리멸전의 가스화 반응 특성을 파악하고자 하였다. 특히 산화제의 양에 따른 가스화기내 농도 분포를 통해 대체 연료로서의 적합성을 알고자 하였다. 해석결과를 통해 오리멸전의 가스화반응을 통해 생성된 가연성 가스인 CO 및 H₂의 농도 분포는 발전 연료로서의

적용 가능성을 보여주었으며, 보다 세밀한 자료를 통한 모델링을 통해 오리멀전 가스화기의 설계조건을 제시할 수 있으리라 판단된다. 향후 본 연구를 바탕으로 보다 정확한 오리멀전의 연료 특성 및 가스화기의 운전 조건을 확보하여 오리멀전 가스화기내 반응유동장의 연구를 진행하고자 한다.

참고문헌

1. 이승중, 이진욱, 김형택, "오리멀전 사용 분류층 가스화기의 성능예측", 한국에너지공학회 춘계학술발표회 초록집, pp.378-85, 1994
2. Bitor, "A Presentation to Institute for Advanced Engineering", Jan., 1994.
3. M.E. Quintana and L.A. Davis, "Pilot Plant Evaluation of Orimulsion as a Feedstock for the Texaco Gasification Process", Texaco Development Co., April, 1990.
4. Sikander Khan, "Orimulsion-Viability as a Repowering Fuel", the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 18-21, 1996.
5. C.Y. Wen and E. Stanly Lee, Coal Conversion Technology, Addison-Wesley Publishinh Company, 1979.

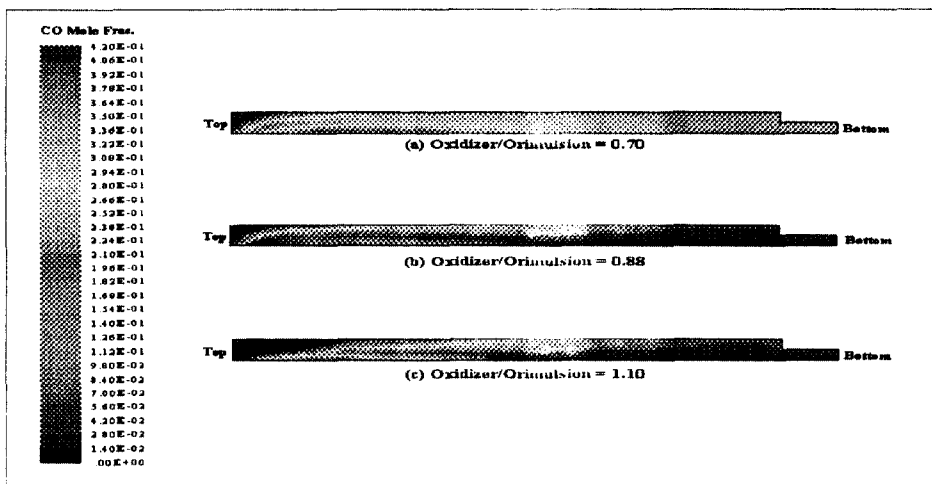


Fig. 1 산화제와 오리멀전의 비에 따른 CO 가스의 가스화기내 농도분포

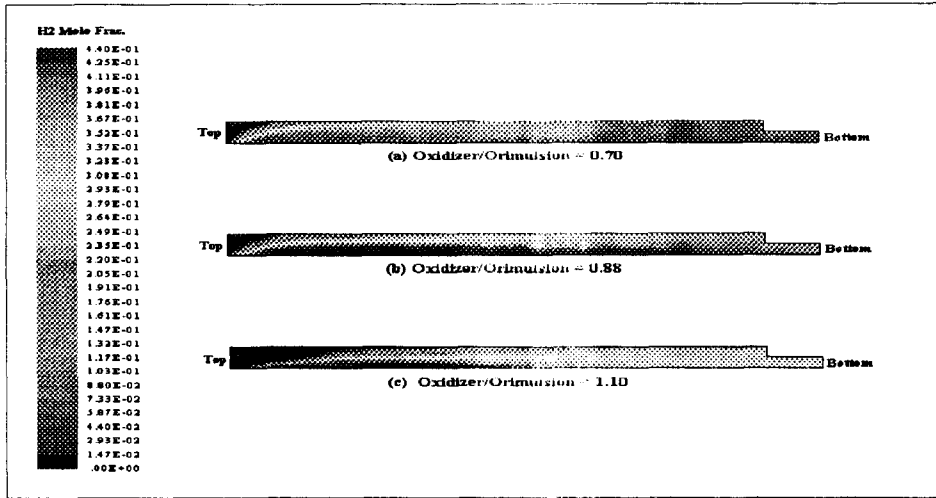


Fig. 2 산화제와 오리멀전의 비에 따른 H₂ 가스의 가스화기내 농도분포

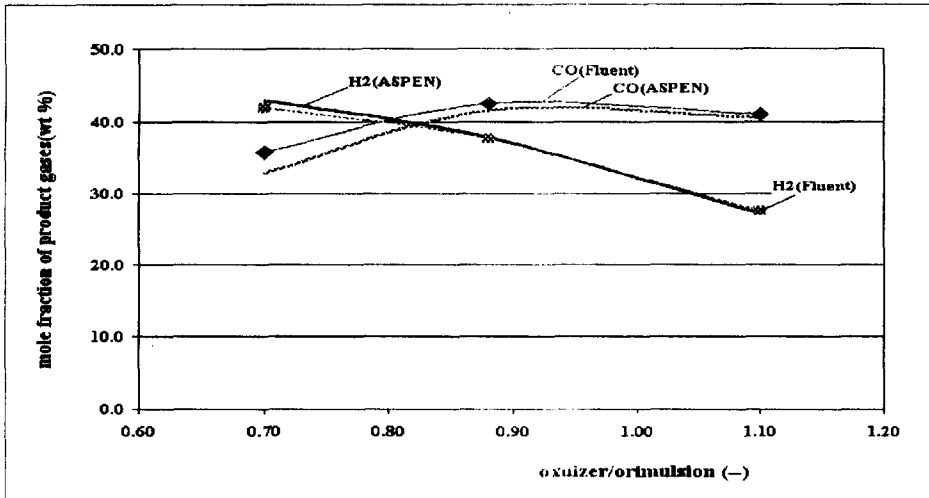


Fig. 3 산화제와 오리멀전의 비에 따른 출구에서의 CO 및 H₂의 농도