

# Orimulsion 사용 분류층 가스화기의 성능 예측

이승중\*, 이진욱, 김형택  
고등기술연구원 전력에너지연구소

## 요약

ASPEN(Advanced System Process Engineering) 코드를 이용하여 오리멀전(orimulsion)을 이용한 가스화기의 성능을 예측하고, 발전 연료로서의 적합성 등을 살펴보았다. 오리멀전은 역청(bitumen)에 물을 섞은 연료로 중유와 석탄의 중간 정도의 성질을 가지고 있다. 본 연구에서는 오리멀전 가스화기의 운전 특성을 파악하고 주입되는 산화제 양을 변화시켜 산화제의 가스화기 운전온도에 미치는 영향과 생성되는 주요 합성가스 성분에 미치는 영향 등을 예측하고 새로운 연료로서의 타당성 여부를 검토하였다.

## 1. 서론

베네주엘라에서 생산되고 있는 오리멀전(orimulsion)은 역청(bitumen)에 물을 첨가한 새로운 연료로서 수  $\mu\text{m}$ 에서 수천  $\mu\text{m}$ 의 역청 방울이 물로 둘러싸여진 에멀전 상태의 물질이다[1]. 그림 1에 오리멀전의 연료 특성을 나타내었는데, 오리멀전은 역청이 약 70%이고 물이 약 30% 포함되어 있으며 약간의 계면활성제가 첨가되어 역청의 영감을 막고 점도를 낮추게 되어 중유와 비슷한 유동성을 갖게되고 상온에서도 다루기가 쉬워진다. 그러나, 물이 30% 정도 섞여있기 때문에 오리멀전은 실제로 석탄과 중유의 중간 정도의 성질을 가지게 된다. 그림 2에 여러가지 연료의 특성을 비교해 놓았는데, 오리멀전은 석탄보다 재의 양은 적고, 황과 바나듐의 양은 비교적 많은 것으로 나타나 있다[2]. 또한 오리멀전에는 물이 약 30% 섞여있기 때문에 발열량이 중유의 70%에 불과하지만 석탄과 비슷한 값을 가지고 있으므로 발전 연료로서의 가능성을 가지고 있다. 또한 오리멀전은 다른 연료에 비해 황성분을 많이 포함하고 있으므로 단위 에너지당 발생하는 SOx의 양이 많으나 탈황공정의 도입 등으로 이러한 공해 물질을 쉽게 제거할 것으로 판단된다. 오리멀전 연료의 또 하나의 특징은 다른 연료에 비해 바나듐을 훨씬 많이 내포하고 있는 것이다. 이러한 바나듐의 영향으로 부식도가 비교적 높은 편이나 재의 성분으로 대부분 유출되는 바나듐을 분리 유출하여 이용할 수 있는 가능성을 지니고 있다.

오리멀전을 발전 연료로서 이용하기 위하여 연소 및 가스화 방법의 연구가 현재 진행 중에 있다. Dalhousie, Namikata 등에서는 연소에 의한 분해 방법을 이용하여 발전에 이용하고 있으며, Texaco사에서는 가스화 방법을 연구하고 있다[3-5]. 그림 3에 Texaco사에서 연구한 오리멀전의 가스화 반응에 대한 간략한 공정 흐름도를 나타내었다. 이러한 공정흐름도를 살펴보면 오리멀전은 중유와 유사하게 취급되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 역청의 매장량과 소비량을 보여주고 있는데, 역청의 매장량은 석유의 매장량과 비슷하지만 소비량은 상당히 적은 편이다. 따라서 역청을 비교적 단순한 공정으로

처리하여 얻을 수 있는 오리멸전은 대체 에너지로서의 그 중요성을 지니고 있다고 할 수 있으며, 최근에는 이 연료의 경제적 유용성이 확인됨에 따라 일부 선진국에서는 오리멸전을 대체 연료로서 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 특히 오리멸전을 가스화 및 복합발전에 이용하려는 연구가 관심을 끌고 있으며, 이러한 연구가 진행되는 주된 원인은 최근 환경 규제가 강화되는 추세에 따라 전력을 생산함에 있어서 단위전력당 이산화탄소의 배출량을 저감할 수 있는 연료 및 기술이 절실하게 필요하게 되었기 때문이다. 미국의 경우, 2010년까지 연평균 전력 수요 증가율을 1.3~1.9%로 전망하면서, 신규 수요의 50%를 석탄가스화 복합발전으로 하고, 가스 발전은 19% 수준을 유지할 계획으로 알려져 있다. 또한 화력발전용 연료로서 석유나 LNG의 비중은 줄여야 하는 우리나라의 입장으로 보아서는 오리멸전에 대한 연료로서의 적합성 검사와 여러 가지 여건을 고려한 경제성을 비교하여 가스화 또는 직접 연소방식에 의하여 전력을 생산할 수 있는 오리멸전을 석유의 대체 연료로서 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이러한 배경을 바탕으로 우리나라에서도 이 연료의 도입을 한국전력주식회사에서 검토한 바 있다.

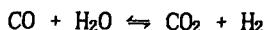
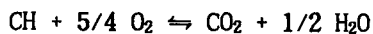
본 연구에서는 위에서 언급한 바와 같이 새로운 대체 연료로서 잠재력이 있는 오리멸전의 복합발전 연료로의 활용 가능성을 검토해 보기 위한 시도로써, 오리멸전 가스화기의 성능을 예측해 보고자 한다. 특히 석탄가스화기와 마찬가지로 오리멸전 가스화기에도 매우 커다란 영향을 줄 것으로 예상되는 산소의 영향에 대한 오리멸전 가스화기의 운전 특성과 주요 합성가스 성분 특성을 분석하고, 오리멸전의 발전연료로서의 적합성에 대하여 논하고자 한다.

## 2. 가스화기 모델 구성 및 가스화기 주입 조건

본 연구에서는 대상 시료로 베네주엘라의 Bitor사에서 생산하는 오리멸전을 사용하였으며 주요 성분 특성을 표 1에 나타내었다. 본 연구에서 대상으로 한 가스화기는 Texaco사의 분류층 가스화기인 습식석탄주입 산소공급형 가압 분류층 가스화기와 유사한 모델을 선정하였다. 이러한 형태의 가스화기를 선택한 이유는 습식석탄주입 방법의 시료 상태와 다량의 물(약 30%)을 함유한 오리멸전의 상태가 서로 비슷할 것으로 판단되고 오리멸전과 석탄의 발열량이 유사하기 때문에 가스화기의 운전 조건이 비슷할 것으로 판단되었기 때문이다.

본 연구에서는 입력 조건으로 표 2에 나타난 것과 같이 Texaco사의 자료를 인용하였으나 가스화기 운전 온도 및 압력, 합성가스 배출 온도 등 오리멸전 가스화기의 운전 특성에 대한 자료가 미흡하였기 때문에 가스화기 초기 입력 자료의 일부는 석탄가스화기와 유사한 조건으로 가정하여 전산해석을 실행하였다.

오리멸전 가스화 반응의 자세한 화학적 열역학적 반응은 매우 복잡하기 때문에 중요한 두가지 반응만을 살펴보면, 다음과 같은 탄화수소의 완전 산화 반응과 물과 기체의 전환 반응이 있다.



가스화기를 떠나는 합성가스는 고압 증기를 만드는 열교환기에 의해서 냉각되고 이 가

스는 분진제거 공정 및 가스정화공정을 거쳐 가스터빈으로 유입하여 전기를 생산하게 된다.

ASPEN 코드를 이용한 본 연구의 가스화기 모델 구성은 Gibbs 자유에너지 최소화법을 이용하는 가스화 반응 block 1개를 포함한 모두 3개의 block으로 구성하였다. 본 연구의 가스화기 모델 계통도를 그림 5에 나타내었는데 전산해석의 특성상 가스화 반응이 일어나기 전에 미반응 물질인 미세 분진을 먼저 생성하여 유출한 후, 나머지 물질은 모두 가스화 반응에 쓰인 것으로 가정하여 전산해석을 수행하였다. 이러한 전산해석 방법은 본 연구의 가스화기 운전성능 연구에 거의 영향이 없을 것으로 판단된다.

### 3. 결과 및 분석

본 연구에서는 가스화 반응에 커다란 영향을 미치는 변수중의 하나인 산화제의 양을 변화시키면서 산화제의 영향에 대한 합성가스 조성 및 가스화기 운전 특성을 알아보았다. Texaco사에서 실증 플랜트에 적용한 산화제 양을 기준 자료(산화제/오리멸전 = 0.88, wt. ratio)로 이용하였고 산화제와 오리멸전 비율을 0.7-2.40까지 변화시키면서 합성가스의 고발열량과 가스화기 운전 온도 등 관찰 변수들을 살펴보았다.

먼저 산화제 양의 변화에 대한 가스화기 운전 온도의 변화를 살펴보면, 산화제의 양이 증가할수록 가스화기의 운전 온도는 급격한 증가를 보였고 연료의 완전산화반응이 이루어지는 산화제와 오리멸전의 비율인 2.30 부근에서는 온도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 산화제가 증가할수록 연소 반응이 활발히 진행되는 것을 쉽게 예측할 수 있다(그림 6).

다음으로 산화제 양의 변화에 따른 합성가스의 생성변화를 살펴보면, CO 가스는 산화제 양과 오리멸전의 비율이 0.7-0.9의 범위에서 급격히 증가하고 0.9 이상에서 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 산화제와 연료의 비율이 0.9까지는 오리멸전에 함유된 탄소와 산소의 가스화 반응이 활발히 진행되고 0.9 이상에서는 연소 반응이 점차 활발히 진행되기 때문이다. H<sub>2</sub> 가스는 산화제의 양이 증가할수록 급격한 감소 현상을 나타내었는데, 이러한 이유는 산화제가 증가할수록 가스화 반응에 커다란 영향을 미치는 반응인 물과 기체의 전환반응이 발열반응이므로 가스화기의 운전 온도가 증가하여 H<sub>2</sub> 가스의 생성은 감소하기 때문이다. 또한 생성된 H<sub>2</sub> 가스의 연소반응이 활발해 지기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 현상으로부터 H<sub>2</sub> 가스의 생성은 산화제의 양의 변화에 매우 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. CO<sub>2</sub> 가스는 산화제의 양이 증가할수록 서서히 증가하는 경향을 나타냈는데 이는 산화제가 증가할수록 연소반응이 점차 활발해 진행되는 것을 알게해준다(그림 7).

산화제 양의 변화에 따른 합성가스의 고발열량을 그림 8에 나타내었다. 산화제와 연료의 비율이 0.85 부근에서 최대치를 보였고 산화제가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

이상과 같이 본 연구에서는 산화제의 영향에 따른 오리멸전 가스화기의 성능을 예측하였다. 산화제주입량이 증가할수록 가스화기의 운전 온도는 증가하였고 합성가스의 고

발열량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로부터 CO와 H<sub>2</sub> 가스의 생성비와 합성가스의 고발열량을 고려하여 가스화기 운전 조건의 최적 상태를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 연구중인 오리멸전 가스화기는 재를 건회 처리하는 공정이므로 실제 운전되는 가스화기는 1700 K 이상에서는 운전되지 않을 것으로 판단되며 따라서 본 연구의 결과로부터 최적 상태의 가스화기 운전 조건은 합성가스의 고발열량이 가장 높은 산화제와 연료의 비율이 0.85 부근인 것으로 예측된다. 표 3에 Texaco사에서 실증 실험한 합성가스의 결과와 본 연구에서 전산해석한 합성가스의 결과가 정성적으로 잘 일치하는 것으로 나타났고 본 연구에서 예측한 결과 또한 이 입력조건에서 합성가스의 발열량이 가장 높은 것으로 나타났다.

#### 4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 오리멸전을 연료로 이용하여 산화제주입량의 변화에 따른 가스화기의 성능을 예측하였다. 현재 오리멸전을 이용한 가스화기 적용에 대한 입력자료의 빈약함으로 인하여 정확한 결과를 얻지는 못했지만 Texaco사의 실증 실험 결과와 본 연구의 결과로부터 얻어진 최적의 운전 조건과 일치하므로 본 연구의 해석결과가 타당성 있는 것으로 판단되고 따라서 이와 같은 기초연구를 바탕으로 오리멸전을 이용한 복합 발전 플랜트의 성능의 예측에 적용하고자 한다.

본 연구를 바탕으로 향후 오리멸전의 보다 정확한 연료 특성과 보다 정확한 가스화기 운전 조건 등 보다 정확한 입력 자료를 취합하여 오리멸전 가스화기에 대한 정성적, 정량적인 해석에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 감사

본 연구과제는 1992년도부터 상공자원부산하 에너지자원개발기술지원센터에서 지원하는 “석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화개발”(프로젝트번호 921E105-348DG1)의 1993년 2차년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Bitor, "A Presentation to Institute for Advanced Engineering", January, 1994.
2. E.Hernandez-Carstens and R.Rodriguez, "Orimulsion:A New Fuel for Power Generation", Bitor America Co., 1991.
3. B.C.Mackintosh, "Boiler Performance", Institute of Energy Conference, April, 1990.
4. B.A.Kennedy, "Evaluation of Handling and Combustion Characteristics of Orimulsion in a Commercial Utility Boiler", NB Power, 1991.
5. 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.

표 1. 오리멀전 시료의 성분 특성

원소분석 (WT%, WET)		수분 함량 (WT%)	Gross Heating Value (Btu/lb)	
Carbon	60.81	28.59	As-recieved	12815
Hydrogen(1)	7.55			
Nitrogen	0.38		Moisture-free	17948
Sulfur	2.57			
Ash	0.10			

(1) 물에 포함된 수소의 함량은 제외.

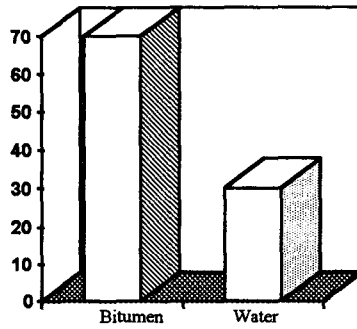
표 2. 가스화기 초기 입력 조건\*

Orimulsion (LB/HR)	Oxidant (SCFH)
1390	13750

\* Texaco사에서 실증프린트에 적용한 자료임.

표 3. 오리멀전 가스화기 합성가스 조성

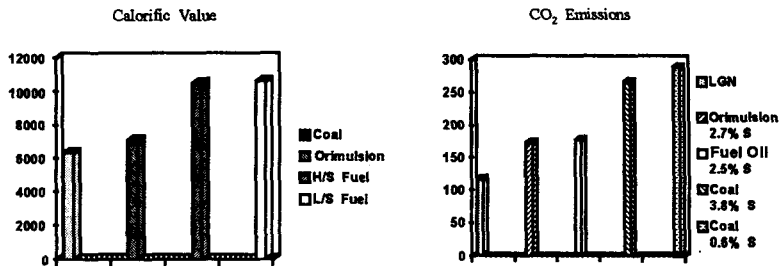
		Texaco 자료 (Pilot Unit)	ASPEN 모사 결과
생성가스 조성비 (MOL %)	CO <sub>2</sub>	10.03	7.05
	CO	42.04	46.70
	H <sub>2</sub>	45.22	43.79
	CH <sub>4</sub>	0.08	0.00
	N <sub>2</sub>	1.77	1.61
	NH <sub>3</sub>	0.00	0.01
	H <sub>2</sub> S	0.86	0.81
	COS	0.00	0.04
HHV (Kcal/m <sup>3</sup> N)		2646	2735



**Properties**

Apparent Viscosity	600 mPas a 30 °C / 20 s <sup>-1</sup>
Sulfur (%w)	2.8
Vanadium (ppm)	360 Max.
Calorific Value Mj/Kg	29.7
Ash (%w/w)	0.25

그림 1. 오리멀전의 특성



Specifications - wt%

Orimulsion	Sulfur	Nitrogen	Ash	Vanadium (ppm)
Orimulsion	2.4 - 2.9	0.4 - 0.5	0.04 - 0.25	280 - 360
Coal	0.5 - 4.0	1.2 - 2.0	10.0 - 17.0	---
Fuel Oil	0.2 - 3.0	0.2	0.02	2 - 40

그림 2. 여러가지 연료의 특성 비교

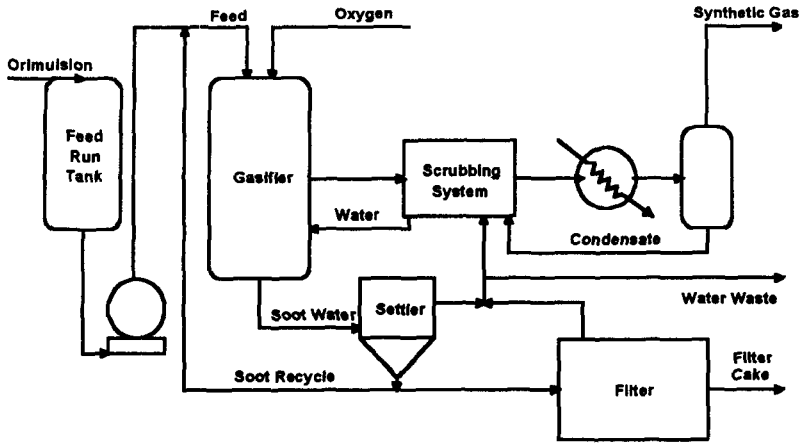


그림 3. 오리멀전 가스화 공정 흐름도

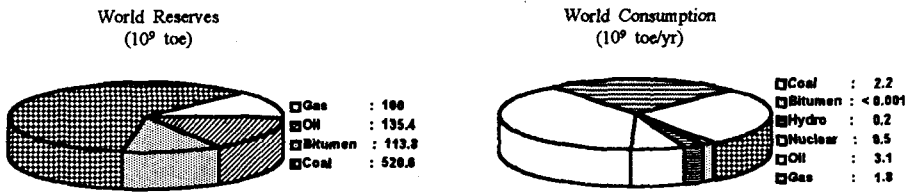


그림 4. 에너지의 매장량과 소비량



그림 5. 오리멀전 가스화기 공정 흐름도

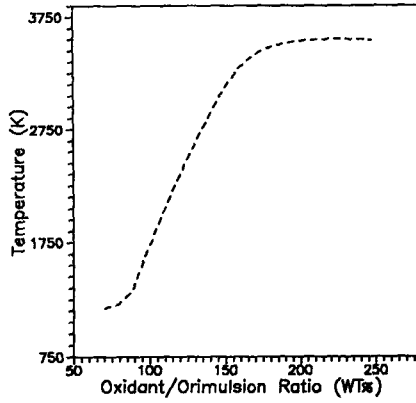


그림 6. 산소량 변화에 따른 가스화기 운전 온도의 영향

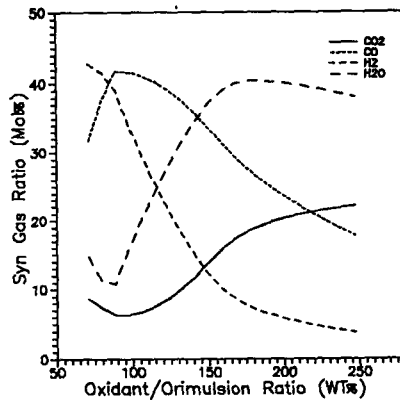


그림 7. 산소량 변화에 따른 합성가스 조성의 영향

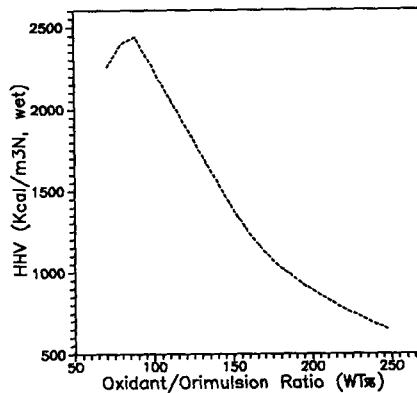


그림 8. 산소량 변화에 따른 합성가스 HHV 영향