

## 1 톤/일급 분류층 반응기에서의 중잔유가스화 및 전산해석

주지선, 나혜령, 윤용승  
고등기술연구원 Plant Engineering센터

### Gasification and Computational Analysis of Heavy Residual Oil in an 1 ton/day-class Entrained Bed Reactor

Ji Sun Ju, Hye Ryung Na, YongSeung Yun  
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

#### 서론

폐기물을 대상으로 하는 가스화용융공정은 환경문제와 에너지효율 문제를 동시에 접근할 수 있는 공정으로서 폐기물의 잔존에너지 재활용 측면과 다이옥신 발생이 없고 SOx/NOx 발생도 현저히 감소시킬 수 있는 환경적합적인 측면을 볼 때 향후 연소반응에 근거한 공정을 점차 대체할 것으로 예측되고 있다[1].

본 연구센터에서는 “가연성 폐기물처리용 가스화용융 공정기술개발”의 과제를 과학기술부 국가지정연구실사업을 통해 수행 중에 있는데, 현재까지 개발된 가스화용융설비는 최대 10 기압에서 조업 가능한 분류층(Entrained bed) 방식의 가스화용융로로서 폐유, 하수슬러지, 중잔유, 소각재등의 액상 및 슬러리형태의 폐기물을 대상으로 설계되었다.

이 연구에서는 국내 정유공장에서 발생하는 중잔유를 대상으로 1450-1500℃, 3기압의 조건에서 반응시키면서 가스화특성을 고찰하고자 하였다. 또한 전산유체역학의 방법을 이용하여 가스화반응 Kinetics를 고려한 가스화기 해석모델을 설정하고, 실험결과와 비교 검토하고자 하였다.

#### 가스화실험

본 실험에서 사용한 시료인 중잔유(heavy residual oil)는 원유 정제 후 남는 잔여물질로서, 탄소성분이 85%, 수소성분이 10%, 황성분이 5.28% 정도로 구성되어 있으며, 발열량등 시료의 성분 특성을 [Table 1]에 나타내었다.

본실험에 사용한 실험장치는 폐기물 투입설비, 가스화용융로, 배가스처리시스템, 폐수처리 시스템, 그리고 유틸리티 시스템으로 구성되어 있으며, 폐유기준으로 1 톤/일의 처리용량을 가지고 있다. 시스템의 개략도는 [Fig. 1]에 나타내었다.

중잔유의 투입은 200℃ 내외로 예열한 후, 투입노즐에서 수증기를 이용하여 분무시켜 가스화기 내로 공급하였다. 가스화조건은 가스화기내 가스의 체류시간을 4-5sec 정도 유지할 수 있는 조건으로 실험을 실시하였고 압력은 3kgf/cm<sup>2</sup>로 조절하였다. 가스화기에서 배출되는 1200℃ 이상의 배출가스는 냉각탑에서 물을 분사하여 냉각하였고, 입자상 물질은 Demister가 부착된 Scrubber와 Filter bag을 이용하여 제거하고, 최종 배출된 가스는 Flare stack을 이용하여 처리하였다. 발생가스의 조성은 가스분석기로 연속측정 하였으며, 발생된 가스량은 V-cone meter를 이용하여 측정하였다. 미반응된 Dust의 양은 실험후 Filter bag및 Dimister에서 포집된 것을 계측하였다.

Table 1. Composition of heavy residual oil

Proximate Analysis(%)	Moisture	0.00
	Volatile Matter	80.92
	Ash	0.07
	Fixed Carbon	19.01
Ultimate Analysis(%)	C	84.47
	H	10.18
	N	0.00
	S	5.28
	O	0.00
	Ash	0.07
	Moisture	0.00
Gross heating value(Kcal/kg)	10,081	

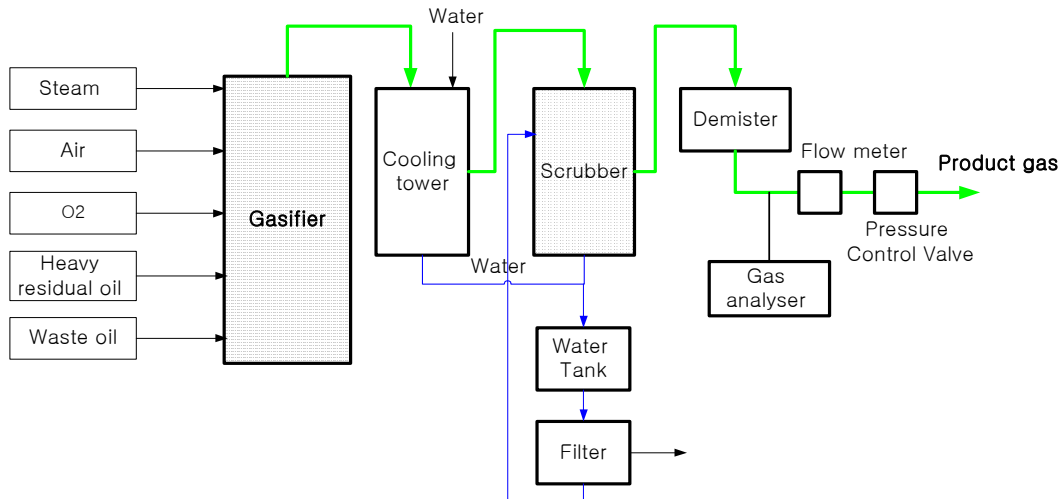


Fig 1. Schematic diagram of the 1 ton/day-class gasifier

### 전산해석방법

전산해석은 상용 전산유체 code의 하나인 CFX4.3을 이용하여 수행하였다. 중간유의 휘발화는 Barreiros 등[2][3] 이 제시한 Oil 휘발모델을 FORTRAN을 이용하여 부함수를 작성하고, CFX4.3 의 Solver와 연계하여 계산되게 하였다. 난류모델은 표준 k-ε 난류모델식을 이용하였고, 중간유입자의 궤적은 Lagrangian 방법을 사용하여 계산하였다.

$$\frac{dD_p}{dt} = -C \frac{4k_g}{\rho_p C_p D_p} \ln(1+B) \quad (1)$$

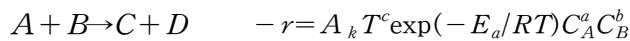
$$B = \frac{C_g}{L} (T_g - T_b) \quad (2)$$

$$C = 1 + 0.278Re^{0.5}Pr^{0.3333} \left(1 + \frac{1.237}{RePr^{1.3333}}\right)^{-0.5} \quad (3)$$

중잔유의 가스화반응에 사용한 화학반응과 반응상수는 [Table 2]에 나타내었다.

Table 2. Chemical reactions and kinetic parameters

Reaction	$A_k$	$E_k$ [J/Kmol]	a	b	c	$\Delta H$
Oil partial oxidation	$4.40 \times 10^{11}$	$1.257 \times 10^8$	0.5	1.25	0	$-1.38 \times 10^9$
Hydrogen oxidation	$6.80 \times 10^{15}$	$1.676 \times 10^8$	0.25	1.5	-1	$-2.42 \times 10^8$
Water shift reaction	$2.75 \times 10^9$	$8.380 \times 10^7$	1	1	0	$-4.12 \times 10^7$
Oil and steam reaction	$4.40 \times 10^{11}$	$1.257 \times 10^8$	1	1	0	$2.2 \times 10^9$



### 결과 및 고찰

중잔유의 공급량 변화에 따른 반응 특성을 보기 위해 산소/중잔유 비를 1.0으로 일정하게 유지시키면서 시료 공급량을 각각 15, 20, 25, 31kg/hr로 변화시켜 보았다. [Fig. 2]에 시료 공급량 변화에 따른 생성가스의 조성을 나타내었는데 중잔유 공급량 31kg/hr에서 H<sub>2</sub> 가스는 최대 45%, CO 가스는 최대 26%의 생성가스 농도 분포를 보여주었다. [Fig 3]는 산소/중잔유 비의 증가에 따른 생성가스의 조성을 나타낸 것이다. 실험 결과로부터 산소 공급량이 증가함에 따라 H<sub>2</sub> 생성량은 급격히 증가하여 최대 42% 까지 나타났으며, CO 생성량도 산소/중잔유 비 1.2에서 최대 25% 까지 증가하는 경향을 보였다.

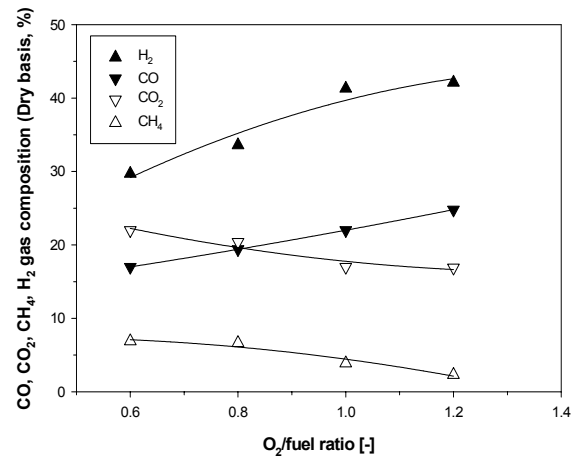
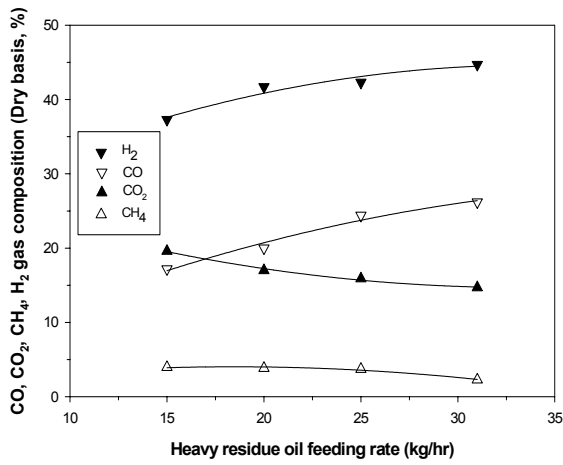
[Fig 4]에 전산해석결과에 따른 가스화기내 속도분포와 생성가스인 CO, CO<sub>2</sub>의 농도 분포를 나타내었다. 전산해석으로 예측한 가스농도를 실험결과와 비교해 볼 때 어느 정도 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Wetherold, B, Maxwell, D. and Orr, D. : A comparison Gasification and Incinerator of Hazardous Waste, DOE report, 2000.
2. Barreiros A., Carvalho M.G., Costa M., and Lockwood F.C., Prediction of the near burner region and measurements of NO<sub>x</sub> and particle emissions in heavy fuel oil spray flames, Comb. Flame, 92, p231, 1993.
3. Faeth G.M. and Lazar R.S., AIAA J., 9, p2165.

### 감사

본 연구는 과학기술부 산하 한국과학기술평가원에서 지원한 국가지정연구실 “가연성 폐기물처리용 5톤/일급 가스화용융 공정기술개발” 과제의 일환으로 추진되었습니다. 지원에 감사드립니다.



[Fig. 2] Effect of heavy residue oil feed rate on the product gas compositions

[Fig. 3] Effect of O<sub>2</sub>/fuel(kg/kg) ratio on the product gas compositions

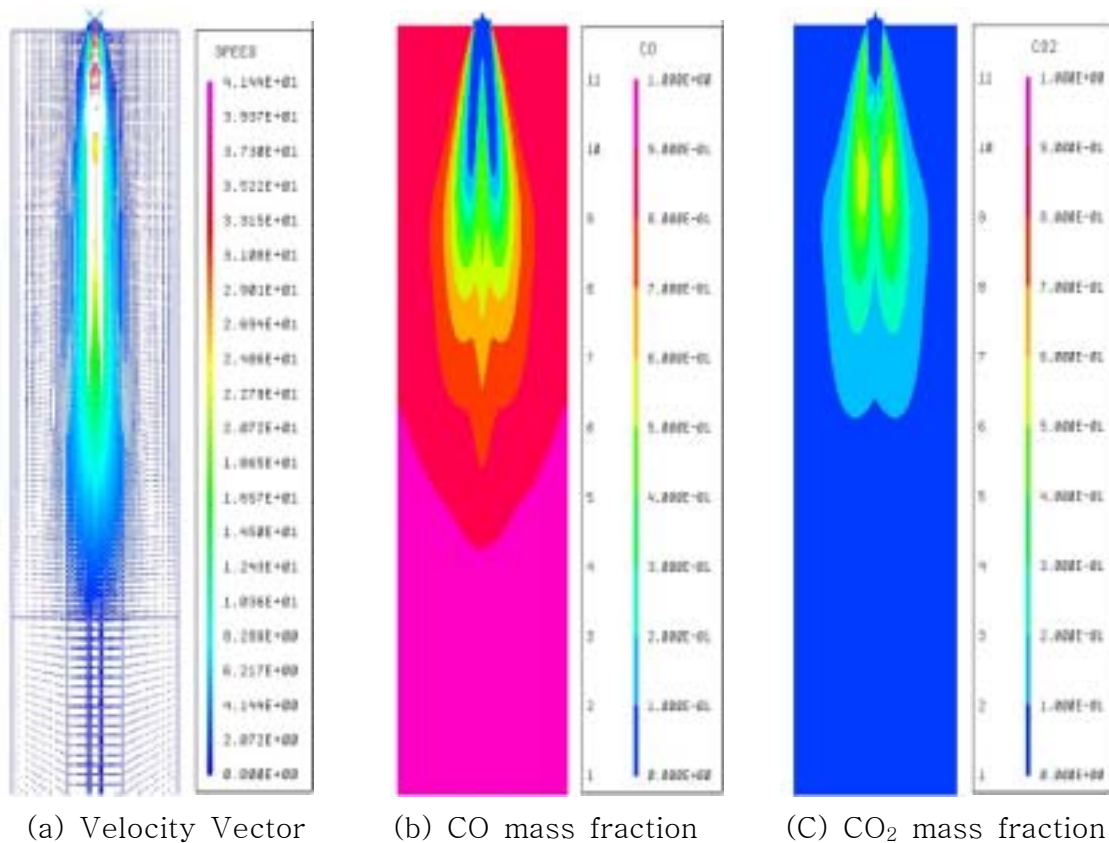


Fig 4. Result of computational analysis