

ASPEN 코드를 이용한 석탄가스화기내 주요 변수들의 가스화 성능에 대한 영향

이승중*, 마수만*, 윤용승, 김형택
고등기술연구원 전력에너지연구소
*아주대학교 에너지학과

요약

ASPEN 코드를 이용하여 석탄가스화기에 영향을 주는 온도, 압력, 산화제 및 증기를 변수로 선택하여 각 변수의 변화에 따른 가스화기의 온도 및 생성가스의 조성 변화를 살펴 보았다. 석탄가스화기는 combustion zone, char gasification zone 및 gas shift reaction zone의 3부분으로 나뉘어 각 영역의 특성에 맞게 모사되었다. 온도와 산화제는 석탄가스화기에 커다란 영향을 주는 요소로 나타났고, 압력과 증기 또한 주요 변수인 것으로 나타났다. 본 연구의 궁극적 목적은 석탄가스화기의 운전 조건을 최적화 하는데 있다.

1. 서론

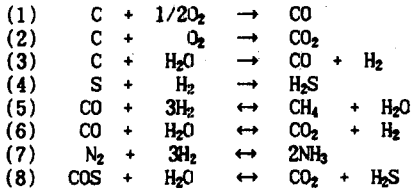
석탄가스화 복합발전시스템(Integrated Gasification Combined Cycle, 이하 IGCC)은 석탄을 불완전 연소시키면서 수증기를 공급하여 가스를 생성하는 석탄가스화 공정, 이 생성가스의 불순물(주로 산성가스)을 정제하는 가스정화공정, 정화된 가스를 1차적으로 발전에 이용하는 가스터빈장치와 여기서 배출되는 폐열을 이용하여 2차적으로 발전시키는 증기터빈장치의 복합적 개념인 발전시스템이다. 따라서 IGCC 기술은 기존의 석탄연소 발전방식에 비해 열효율이나 공해배출 문제 등에서 우수한 특성을 가지므로 차세대 발전방식으로 각광받고 있다.

그러나 IGCC 기술은 기존의 석탄연소 방식과는 달리 석탄의 완전 연소가 아니기 때문에 석탄의 가스화시 주변의 여러 요소들의 변화에 따라 매우 민감한 영향을 받게 된다. 일반적으로 석탄의 가스화 반응에 영향을 주는 변수는 온도, 압력, 산소 및 증기 등 무수히 많으며 이러한 변수들의 영향에 따라 생성가스의 조성의 변화 및 석탄의 전환율에도 상당한 영향을 미치므로 각 변수들의 석탄가스화 반응에 미치는 영향들의 연구와 그 조건의 분석이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 IGCC 발전 시스템 개발 프로젝트의 일환으로 상용 공정해석용 프로그램으로서 고체 반응물을 포함하고 있는 공정을 해석할 수 있는 ASPEN 코드를 사용하여 건식석탄주입 가압 분류층 가스화기를 모사하고 선택된 주요 변수들의 가스화기 성능에 미치는 영향을 평가, 분석하고자 한다.

2. 가스화기 모델 구성 및 가스화기 주입 조건

본 연구에서 대상으로 한 석탄가스화기는 Shell사의 분류층 가스화기와 같은 건식석탄 주입 산소공급형 가압 분류층 가스화기이며, 대상탄은 Usibelli 아역청탄으로 Usibelli탄의 성분 특성은 Table 1에 나타나 있다. 석탄은 분쇄되어 수분함유량 10%로 건조되고 질소에 의해 가스화기 측면으로 주입된다. 입력 조건으로 Shell사에서는 Table 2에 나타난 것과 같이 Illinois No.6탄을 사용하였으나, 본 연구에서는 Table 3과 같이 실험 대상탄인 Usibelli탄을 사용하였으며 석탄가스화 반응의 주요 반응식은 다음과 같다.



ASPEN 코드를 이용한 가스화기 모델의 구성은 연소반응을 나타내는 combustion zone, char gasification zone 및 gas shift reaction zone의 3개의 block을 포함하여 모두 8개의 block으로 구성되어 있다. 본 연구의 석탄가스화기 모델의 계통도를 Figure 1에 나타내었다.

3. 각 변수에 따른 영향의 결과 및 분석

일반적으로 석탄의 가스화 반응에 영향을 주는 변수는 무수히 많으나, 그중에서도 온도, 압력, 산화제 및 증기 등이 등이 중요한 변수이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 변수들이 가스화기의 온도 및 생성가스의 조성(특히 CO, CO₂, H₂, H₂O) 등에 미치는 영향을 분석하였다. 각 변수들의 범위 및 관찰변수들을 Table 4에 나타내었다.

먼저 온도에 대한 영향을 관찰하기 위하여 석탄가스화기의 운전온도를 1,000K에서 2,000K까지 변화시켜가며 생성가스의 조성(CO, H₂, CH₄ 및 CO₂)의 변화를 살펴보았다(Figure 2). 가스화기 마지막 block인 Gas shift reaction zone으로부터 나오는 생성가스의 조성은 대략 1000K~1500K에서 매우 급격한 변화를 나타낸다. 일산화탄소와 수소는 이 온도 범위에서 매우 급격한 증가를 나타내고 있고 메탄과 이산화탄소는 매우 급격한 감소를 보여주고 있다. 이러한 현상만 고려한다면 높은 온도에서 가스화기를 운전하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 특히 H₂는 1500K이상의 온도에서는 서서히 감소하는 경향을 나타내는데 이와같은 이유는 반응식 (6)의 water-gas shift reaction이 고온에서 역반응으로 진행되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 Figure 2의 결과로부터, 단순히 온도에 대한 영향만을 고려할때, 석탄가스화기의 운전온도는 최소한 1300K 이상에서 운전되어야 하며 특히 1400K 이상의 온도를 유지하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 가압형 가스화기를 모델로 하고 있으므로 석탄가스화기에 압력이 주는 영향을 파악하고자 석탄가스화기의 운전압력을 20기압에서 40기압까지 변화시켜가며 가스화기 온도 및 생성가스의 조성에 미치는 영향을 살펴보았다. 일반적으로 압력 변화에 따른 온도 및 생성가스 조성의 변화는 크지 않지만, 압력이 20기압 증가함에 따라 온도는 1℃ 이하가 감소하고 일산화탄소, 수소, 이산화탄소와 메탄의 농도는 무시할만한 증감만이 있었다(Figure 3).

또한 가스화기에 주입되는 산화제의 영향을 관찰하기 위하여 산소/석탄 질량비를 0.5에서 1.2까지 변화시켜가며 그에 따라 석탄가스화기의 온도 및 생성가스의 조성을 알아보았다. 산소주입량이 증가할수록 가스화기의 온도는 급격한 증가를 보였고, 생성가스내 CO 및 H₂는 증가하다가 감소하였으며 CO₂는 감소하다가 증가하고 CH₄는 서서히 감소하였다. 여기서 온도에 의한 영향과 달리 H₂와 CO의 감소, CO₂의 증가는 산소주입에 따른 온도상승의 영향보다 산소증가에 따라 연소반응이 활발히 일어나는 결과로 판단된다. 따라서 CO와 H₂가 많이 생성되고 CO₂의 생성이 적은 범위인 0.6~0.76으로 산소를 주입하는 것이 바람직하다(Figure 4).

산화제뿐만 아니라 증기는 가스화에서 수소와 산소의 공급원이 되고 생성가스의 조성 및 온도를 결정하는 반응물이다. 따라서 증기/석탄의 질량비를 0.03에서 0.25까지 변

화시켜 가면서 증기가 가스화에 미치는 영향을 살펴보았다. 증기의 증가에 따라 온도는 감소하였고 생성가스내의 CO와 CH₄는 서서히 감소한 반면, H₂와 CO₂는 서서히 증가하였다(Figure 5).

4. 결론

본 연구는 석탄가스화 복합발전시스템중에서 건식석탄주입 가압 분류층 가스화기를 ASPEN 코드로 시뮬레이션하여 생성가스의 조성을 계산하고 석탄가스화에 영향을 주는 변수들 중 운전온도 및 압력, 산화제, 증기 등의 변수들이 가스화에 미치는 영향을 살펴보았다.

석탄가스화에 영향을 주는 여러 변수들 중 특히 가스화기의 운전 온도와 가스화기에 유입되는 산소가 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 이밖에 증기와 압력등도 가스화반응에 어느정도 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히 석탄가스화기는 최소한 1300K 이상에서 운전해야 하고 산소/석탄질량비 0.6~0.76 범위에서 산화제를 주입해야 하는 것으로 판단된다. 이와같이 가스화기의 운전에 필요한 여러 변수들에 대한 영향을 고려하여 석탄가스화기 운전조건을 최적화함으로써 가장 바람직한 생성가스의 조성 및 그에 따른 반응조건을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

비록 본 연구에서는 IGCC 시스템 중 특정 시스템에 대한 연구로 가스화기에 영향을 주는 변수들을 연구하였으나, 가스화에 미치는 각 변수들의 일반적인 영향을 알 수 있으므로, 이러한 연구는 다른 IGCC 시스템에도 적용시킬 수 있을 것이다.

Table 1. Alaskan Usibelli Coal의 공업분석 및 원소분석

공업분석치(As-received, wt%)					원소분석치(As-received, wt%)					
F.C.	V.M.	Moisture	Ash	C.V.(Btu/Lb)	C	H	O	N	S	Cl
37.12	50.69	27.00	12.19	11227	66.18	4.97	15.81	0.54	0.27	0.04

Table 2. Shell 가스화기 입력 조건 및 생성가스 조성(Illinois No.6탄 사용시)

가스화기 출구온도 (°C)	가스화기 압력 (기압)	산소/석탄 질량비	증기/석탄 질량비	생성가스 조성비(vol %)	
1370	24.8	0.787	0.030	CO	60.30
				H ₂	30.00
				CO ₂	1.60
				H ₂ S	1.20
				CH ₄	0.00
				NH ₃	0.03
				H ₂ O	2.00
				COS	0.10
				N ₂	3.60
				O ₂	0.00
				AR	1.07

Table 3. 가스화기 초기 입력 조건 및 생성가스 조성(Usibelli탄 사용시)

운전온도(℃)			운전압력* (atm)	산소/석탄* 질량비	증기/석탄* 질량비	생성가스 조성비(vol %)	
Combustion Zone	Gasification Zone	Gas Shift Reaction Zone					
1654.0	1461.2	1421.8	30.0	0.7343	0.0357	CO	49.65
						H ₂	25.36
						CO ₂	6.48
						H ₂ S	0.08
						CH ₄	0.01
						NH ₃	0.01
						H ₂ O	8.22
						COS	0.01
						N ₂	10.17
						O ₂	0.00
						HCl	0.01

* 초기 입력 조건

Table 4. 선택한 각 변수들의 범위 및 관찰변수

변수	변화량	관찰변수
Temperature(K)	1000~2000	CO, H ₂ , CH ₄ , CO ₂
Pressure(기압)	20~40	Temperature CO, H ₂ , CH ₄ , CO ₂
산소/석탄 주입량	0.5~1.2	Temperature CO, H ₂ , CH ₄ , CO ₂
증기/석탄 주입량	0.03~0.25	Temperature CO, H ₂ , CH ₄ , CO ₂

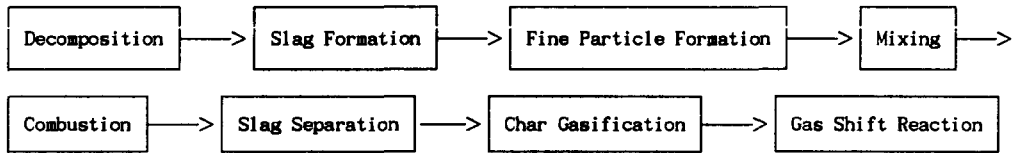


Figure 1. 가스화기 계통도

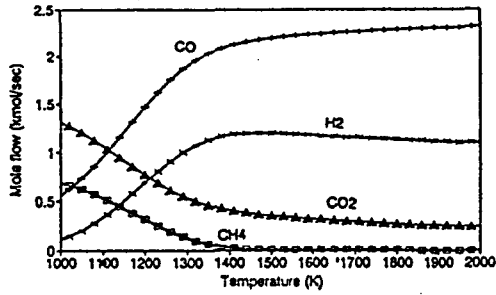


Figure 2. 온도 변화에 따른 생성가스 조성의 영향

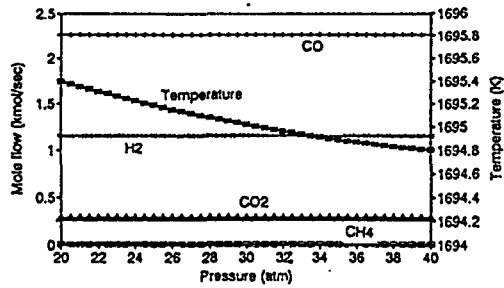


Figure 3. 압력 변화에 따른 온도 및 생성가스 조성의 영향

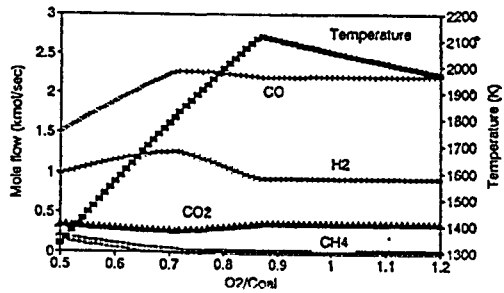


Figure 4. 산소량 변화에 따른 온도 및 생성가스 조성의 영향

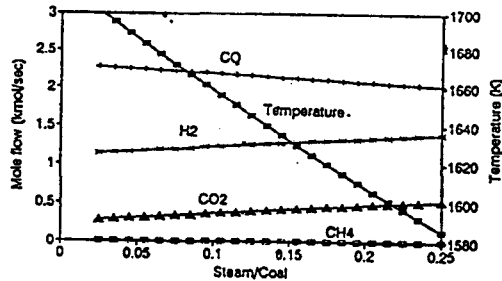


Figure 5. 수증기량 변화에 따른 온도 및 생성가스 조성의 영향