

가스화기 직경 변화에 따른 고압가스화 운전특성

유영돈, 정석우, 김원배
고등기술연구원 재료/공정연구소

Effects of Gasifier Diameter on the High Pressure Gasification Performance

Y. D. Yoo, S. W. Chung, W. B. Kim
Materials/Processing Lab., Institute for Advanced Engineering,

1. 서론

석탄가스화 복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)은 고효율, 청정 전력 생산 기술로 차세대 석탄이용 발전 기술의 대안으로 제시되고 있다. 기존 석탄화력발전소의 발전 효율인 36-38%보다 적어도 2-6% 우수한 효율을 나타내고 있으며 21세기 석탄이용시 적용될 환경 규제치를 가장 현실적으로 만족시킬 수 있는 차세대 석탄화력발전 시스템으로 평가받고 있다. 고정형 환경성의 측면에서 석탄가스화 복합발전설비는 기존의 유연탄 화력발전 방식에 비해서 SO_x, NO_x 및 분진 등의 배출량을 크게 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 재(ash)를 분진형태가 아닌 용융된 후 영긴 슬래크형태로 수거하므로 환경적으로 안전하며, 슬래크와 탈황공정에서 만들어지는 황원소를 회수하여 경제성 있는 부산물로 활용할 수 있다는 장점이 있다.

석탄가스화 복합 발전 시스템에서 핵심 설비인 가스화기는 석탄의 공급 방법에 따라 크게 고정층, 유동층, 분류층 방식으로 나눌 수 있으며 그 가운데서 대용량에 적합한 방식으로는 분류층 방식이다. 분류층 방식은 석탄을 물과 혼합하여 슬러리 형태로 공급하는 습식 방식과 미분탄을 기류 상태로 수송하여 산화제와 혼합시킨 후 분사시키는 건식 방식이 있다. 본 연구에서는 건식 가스화 방식을 택하였으며 또한 가스화기 운전 온도를 1450~1550℃ 사이의 고온에서 운전 함으로써 석탄에 포함된 회재를 용융된 슬래크로 배출하는 슬래깅(slagging) 운전 방식을 택하였다.

고등기술연구원에서는 중국의 Datong탄, 호주의 Curragh탄, Drayton탄, 인도네시아의 Kideco탄, 미국의 Usibelli탄, Cyprus탄에 대한 실험을 가스화 실험을 수행하였으며⁽¹⁻³⁾ 본 논문에서는 미국의 Usibelli탄, 호주의 Drayton탄과 Curragh탄에 대하여 가스화기 형상 변경에 따른 가스화 특성을 조사하였다.

2. 실험 장치

고등기술연구원이 보유하고 있는 석탄가스화기 시스템은 크게 미분탄 저장 및 분쇄 시스템, 미분탄 수송 시스템, 가스화기 본체, 생성된 석탄가스 처리시스템 등으로 구성되었으며 가장 핵심 장치인 가스화기 본체는 공급된 미분탄과 산소 등을 반응시켜 석탄 내의 탄소와 수소 성분을 가스상의 일산화탄소와 수소로 전환시키는 반응로(reactor)와 미분탄에 함유된 회분을 용융 상태인 슬래크 형태로 가스화기 하단부를 통하여 배출하여 슬래크를 냉각, 저장 그리고 배출시키는 슬래크 처리부 (slag quencher)로 나누어진다. 석탄가스 처리 시스템은 1200℃ 이상의 고온인 석탄가스를 냉각, 집진 그리고 세정을 시키는 곳으로, 냉각수가 흐르는 2중관으로 생성가스를 냉각하였으며 사이클론을 통한 집진, 스크리버를 통한 세정 후 플레어 스택에서 연소되어 대기로 방출하였다. 운전 압력에 관계없이 항상 정량의 미분탄을 가스화기에 공급하는 미분탄 공급 시스템은 록호퍼 시스템으로 구성되며 록호퍼 하단에 설치된 피

이드스크루의 회전수에 의해 공급량을 조절하였다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 대상탄의 특성

본 연구에서 사용된 대상탄인 Usibelli탄, Drayton 탄 그리고 Curragh탄의 특성을 조사하기 위하여 공업분석, 원소분석, 무기물 성분분석, 발열량 측정, 회재의 용융 온도측정 등을 하였다. 분석 결과를 보면, Usibelli탄의 휘발분은 44.11%로, Drayton탄의 37.93%, Curragh탄의 19.98%에 비해 휘발분의 함유량이 많으며, 고정탄소는 Usibelli탄이 36.88%, Drayton탄이 49.25%, Curragh탄 56.76%로 고정탄소 양은 Curragh탄이 가장 많음을 알 수 있다. 원소분석 결과를 보면, Curragh탄의 탄소 함량은 72.96%로, Drayton탄의 69.16% 그리고 Usibelli탄의 54.4%에 비해 가장 많은 탄소 함량을 갖고 있으며, 회분의 함량은 Curragh탄의 경우 17.37%, Drayton 탄의 경우 10.76%, 그리고 Usibelli탄의 경우 10.86%로 Curragh탄이 지금까지 가스화기에서 실험한 탄종 중에서 가장 많은 회분을 포함하고 있다. 시료들에 포함된 회분을 구성하는 무기물 분석 결과를 보면, Usibelli탄에는 회 용융점을 낮추는 CaO, MgO가 각각 21.01%, 3.13% 존재하고 있는 반면에 회 용융점을 높이는 Al₂O₃, SiO₂의 함량을 보면, Drayton탄의 경우는 17.8%, 63.3%, 그리고 Curragh탄은 22.8%, 51.1%로 Usibelli탄에 비하여 Drayton탄과 Curragh탄의 회 유동점이 높을 것으로 예상되며 본 연구에서 측정된 회 유동점은 Drayton탄이 1600℃ 이상이었으며, Curragh탄도 1380℃로 Usibelli탄보다 높음을 알 수 있다.

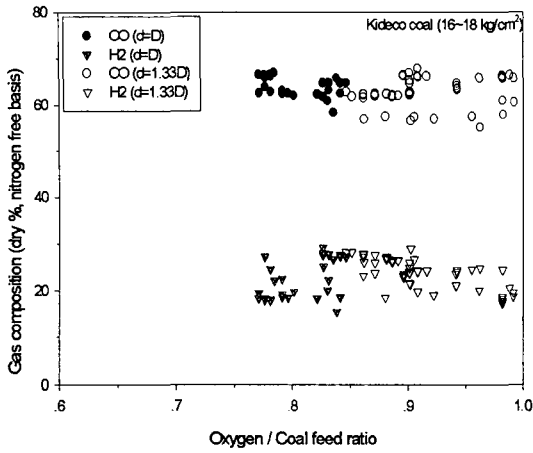
3.2 가스화 특성

미분탄과 산화제 등을 공급하여 석탄 내에 포함된 탄소와 수소 성분을 가스상의 일산화탄소와 수소로 전환하는 가스화 공정은 반응물들의 가스화기 내에서 체류시간, 가스화기 내부 온도 그리고 미분탄과 산화제의 혼합 정도에 직접적인 영향을 받는다는 것이 알려져 있다. 그리고, 가스화기 내로 공급된 반응물의 체류시간에 직접적인 영향을 주는 인자 중에 중요한 요소로는 가스화기의 형상과 크기일 것이다. 가스화기 형상이 가스화 성능에 미치는 영향을 체계적으로 연구한 논문이나 운전 결과를 논한 발표 자료는 아직까지 전무한 실정으로, 3톤/일급 BSU 가스화기 형상 최적화 결과와 가스화기 형상 변경에 따른 가스화 특성 연구는 PDU급이나 상용화급 가스화기 설계에 활용할 수 있는 자료가 될 것으로 판단된다.

BSU 가스화기 내부는 공급된 미분탄과 산화제의 혼합 및 부분 연소 반응, 가스화 반응이 시작되는 영역과 연소 반응보다 긴 반응시간을 요구하는 잔류 화와 연소 생성물인 CO₂, H₂O와의 가스화 반응을 지속시키는 영역으로 나눌 수 있다. 이 영역을 엄밀하게 구분하는 것은 어려우나, 공급된 반응물을 혼합, 부분 연소 반응을 일으키며 가스화 반응을 시작하는 부분이 가스화기에서 가장 핵심 부분이며 이 부분의 반응 상태에 의해 가스화 성능이 크게 영향을 받으리라 생각된다.

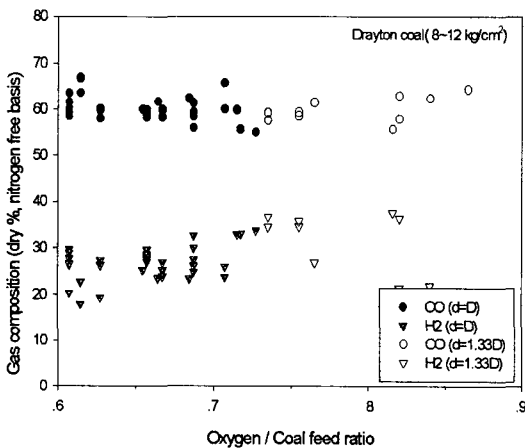
본 연구에서는 가스화기 주반응 영역의 초기 직경을 D라 하였을 때 직경을 1.33D, 1.67D로 변경시켰을 때의 가스화 성능을 조사하였다.

[그림 1]에는 Kideco탄을 사용하여 가스화기 운전 압력이 16~18kg/cm²인 경우, 반응 영역의 직경 변화에 따른 생성가스 조성을 나타낸 것이다. 여기에 나타낸 생성가스 조성은 건가스 기준으로 분석한 가스 조성에서 반응에 관여하지 않은 질소를 제외한 나머지 가스에 대한 부피비(dry, nitrogen free basis)이다. 결과를 보면 생성 가스 조성은 큰 차이를 보이지 않지만 가스화기 운전 온도가 1450~1550℃의 범위에서 운전하기 위한 산소/미분탄의 무게비의 영역은 차이가 있음을 알 수 있다. 가스화기 직경이 D인 경우 생성가스 조성 중의 CO 부피비는 60~67% 내외이며, 수소의 부피비는 15~25% 범위에 있음을 알 수 있다. 가



[그림 1] 가스화기 직경 변화에 따른 영향 (Kideco탄)

거의 변화가 없지만 H₂ 농도는 약간 증가함을 알 수 있다. 또한, 가스화기 직경이 D인 경우는 산소/미분탄의 무게비가 0.73 이하에서 운전되지만 가스화기 직경이 1.33D인 경우는 산소/미분탄의 무게비가 0.74 이상의 범위에서 운전됨을 알 수 있다.



[그림 2] 가스화기 직경 변화에 따른 영향 (Drayton탄)

비가 0.67~0.71, 가스화기 직경이 1.67D인 경우는 산소/미분탄의 무게비가 0.7이상에 범위에서 운전됨을 알 수 있다.

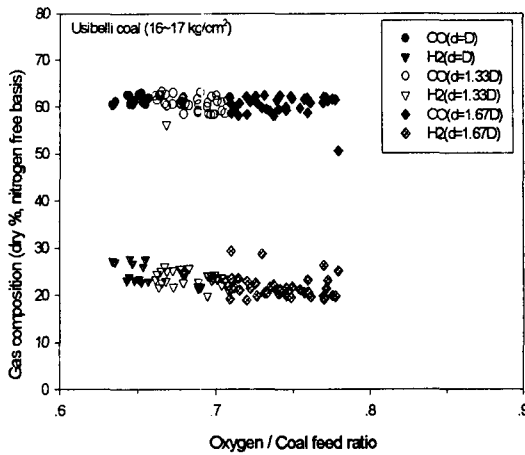
이상과 같이 3개의 탄종에 대해서 가스화기 직경 변화에 따른 가스화기 운전 특성을 조사하였는데, 공통적으로 가스화기 직경 변화에 가스조성은 큰 영향을 받지 않지만 가스화기 운전 온도가 1450~1550℃ 운전되기 위한 산소/미분탄의 무게비가 가스화기 직경이 증가함에 따라 높아짐을 알 수 있다.

스화기 직경이 1.33D 증가된 경우에도 직경이 D인 경우와 비교하여 생성가스 조성에는 큰 차이가 없지만, 가스화기 직경이 D인 경우는 산소/미분탄의 무게비가 0.77~0.84 범위에서 운전되는데 비해서 가스화기 직경이 1.33D인 경우에는 산소/미분탄의 무게비가 0.83 이상의 범위에서 운전됨을 알 수 있다.

[그림 2]에는 Drayton탄을 사용하여 가스화기 운전 압력이 8~12kg/cm²인 경우, 가스화기 직경이 D와 1.33D일 경우의 결과를 나타낸 것이다. 생성가스 조성 중의 CO 부피비는 55~66% 내외이고 수소의 부피비는 17~32% 범위에 있으며 가스화기 직경이 1.33D로 증가된 경우에도 직경이 D인 경우와 비교하여 CO 가스 조성은

[그림 3]에는 Usibelli탄을 사용하여 가스화기 운전 압력이 16~17kg/cm²인 경우로 가스화기 직경이 D, 1.33D, 1.67D인 경우의 결과를 비교한 것이다. 먼저 직경이 D인 경우, 생성가스 조성 중의 CO 부피비는 60~63% 내외, 수소의 부피비는 22~28% 범위에 있으며 가스화기 직경이 1.33배, 1.67배 증가된 경우에도 CO 가스 조성의 큰 변화는 없다. 수소의 경우에는 가스화기 직경이 1.33배, 1.67배 증가된 경우에 부피비가 약간 감소하는 경향을 나타내지만 역시 큰 변화는 없음을 알 수 있다. 그리고, 가스화기 직경이 D인 경우는 산소/미분탄의 무게비가 0.63~0.67의 범위에서 운전되고, 가스화기 직경이 1.33D인 경우는 산소/미분탄의 무게

가스화기 운전 온도를 1450~1550℃ 정도를 유지하기 위하여 가스화기 반응 영역의 직경



[그림 3] 가스화기 직경 변화에 따른 영향 (Usibelli탄)

의 감소)하는 결과가 되어, 동일 온도를 유지하기 산소/미분탄의 무게비를 증가시켜 단위 체적당의 열발생량을 증가시켜야한다는 것을 추론할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 미국의 Usibelli탄, 호주의 Drayton탄, Curragh탄에 대한 가스화기 반응 영역의 직경 변화에 따른 가스화기 운전특성을 조사하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 사용한 3개의 탄종에 대해서 가스화기 주 반응 영역의 직경 변화는 석탄 가스 조성에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.
2. 공급된 미분탄 내의 회재를 용융 슬래크로 처리하는 슬래깅 가스화기 운전에서는 원활하게 용융 슬래크를 배출시키기 위해서는 회의 유동점보다 충분히 높은 온도에서 운전이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 가스화기 운전 온도를 1450~1550℃ 의 범위로 유지하였으며, 이때 가스화기 외경을 일정하게 유지하면서 가스화기 반응 영역의 직경의 증가는 가스화기 내화벽 두께를 감소시키며 이에 따라 가스화기 벽면으로 열손실이 증가되고 동일 온도를 유지하기 위해서는 산소/미분탄의 무게비가 증가됨을 알 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 R&D본부에서 지원하는 “Bench 급 건식 석탄 가스화기 운전 및 모사기술개발(II)” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 산업자원부: “Bench Scale급 건식 석탄가스화기 운전 및 모사기술개발 (II)”, (1999).
2. 정석우, 유영돈, 윤용승 : “분류층 건식 석탄가스화기에서의 가스화 특성”, 한국화학공학회 춘계학술대회(에너지/환경분야), Vol. 5, No.1, pp.1249-1252 (1999).
3. 이계봉, 유영돈, 윤용승 : “가스화 조건에서 생성된 석탄 슬래크의 특성”, 한국화학공학회 춘계학술대회(에너지/환경분야), Vol. 5, No.1, pp.1233-1236 (1999).