

가스화효율 증대를 위한 고압 미분탄공급장치 개선에 관한 연구

정석우, 정우현, 김문현, 윤용승

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

A Study on the Improvement of High Pressure Pneumatic Coal Feeding System to Increase Gasification Efficiency

Chung Seok Woo, Jung Woo Hyun, Kim Mun Hyun, Yun Yongseung

Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

1. 서론

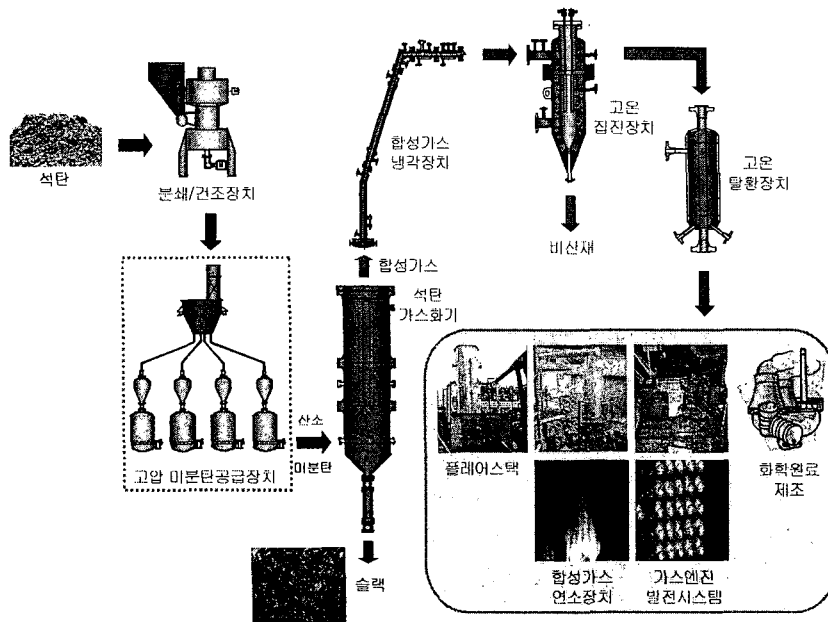
가스화 기술은 석탄, petroleum coke, 폐기물 등으로부터 유용한 대체에너지원인 합성가스를 생산하는 고청정, 고효율 기술로서, 생산되는 합성가스는 천연가스를 대체하여 발전에 사용되거나 화학원료 또는 액체연료를 생산하기 위한 원료 물질로 사용이 가능하다. 고온, 고압 조건으로 운전되는 가스화기 내부에서 원료와 산소의 가스화 반응에 의해 생산되는 합성가스는 CO와 H₂가 주 성분이며, 가스화기 내부의 고온 조건으로 인해 공급되는 원료 중 무기물 성분은 용융되면서 골재 또는 노반재 등으로 재활용이 가능한 슬래크 형태로 배출된다. 고등기술연구원에서 개발중인 석탄가스화 복합발전 시스템의 경우에는 석탄을 환경친화적이면서도 42%~50%의 고효율로 활용이 가능토록 하는 신뢰성 있는 차세대 발전기술로서, 환경적인 측면에서도 CO₂ 발생 감소, SOx/NOx 배출 감소 등 지구온난화 및 공해문제를 동시에 해결할 수 있다는 장점을 가지고 있어 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 이미 국가적인 차원에서 연구개발과 실증 플랜트의 건설 및 운전을 지원하고 있는 실정이다.

고등기술연구원에서도 1995년부터 아주대학교내에 3톤/일급 건식 분류층 석탄 가스화기 pilot 플랜트를 건설하여 합성가스 제조 신뢰성 향상 운전기술 개발을 진행하고 있는데, 본 연구는 가스화효율 증대를 통한 양질의 합성가스 조성을 얻기 위하여 진행한 고압 미분탄공급장치 관련 설비 및 제어시스템의 개선사항과 이를 적용한 실험결과에 관한 내용이다.

2. 실험장치

2-1. 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템

고등기술연구원의 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템은 대상탄을 74 μ m 크기로 분쇄하고 건조하는 석탄 분쇄/건조장치, 미분탄을 기류수송 방식에 의해 고압으로 공급하는 미분탄공급장치, 미분탄과 산소의 가스화 반응에 의해 합성가스(CO, H₂)를 생성하고 불연분은 용융시켜 슬래크로 배출하는 석탄 가스화기, 가스화기에서 생성되는 고온의 합성가스를 정제설비의 처리온도까지 낮추는 합성가스 냉각장치, 합성가스에 포함된 분진과 H₂S 가스를 고온에서 제거하기 위한 고온 집진장치 및 고온 탈황장치 등으로 구성되며, [그림 1]은 이러한 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템의 공정구성도를 나타낸 것이다. 그리고, 가스화 반응에 의해 생성되는 합성가스는 합성가스 연소특성 연구를 위한 합성가스 연소장치, 전기생산 실증 연구를 위한 소형 가스엔진 발전시스템, DME 등과 같은 화학원료 제조를 위한 설비 등에 공급되도록 구성되어 있다.



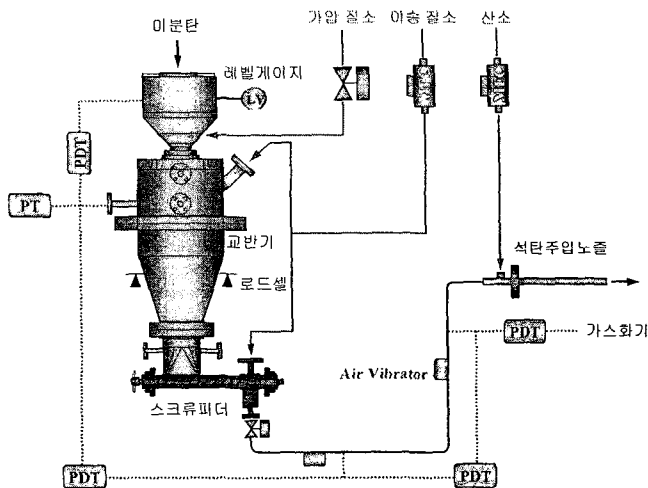
[그림 1] 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템 공정구성도

2-2. 고압 미분탄공급장치 개선

고압 미분탄공급장치는 스크류피더에 의해 공급되는 미분탄을 질소 가스를 이용한 기류 수송 방식에 의해 고온, 고압 조건으로 운전되는 가스화기에 이송하는 설비로서, 가스화기의 안정적인 운전여부를 결정하는 핵심 설비이다. 고압 미분탄공급장치는 가압 상태로 운전되면서 스크류피더 작동에 의해 저장된 미분탄을 공급하는 하부호퍼(Injection Vessel)와 상압 상태로 유지되다가 미분탄 재충진시 가압/감압 과정을 반복하는 상부호퍼(Lock Vessel)로 구성되며, 정상운전중 연속적인 미분탄의 재충진을 위하여 록호퍼 방식으로 작동하게 된다. 이러한 고압 미분탄공급장치는 운전중 일정량의 미분탄을 안정적으로 가스화기에 공급하는 것이 가장 중요한 목적인데, 초기에 설치한 미분탄공급장치의 경우 하부호퍼와 상부호퍼 내부에서 압력에 의한 미분탄의 눌림 현상에 의해 미분탄이 공급되지 않거나 미분탄 이송라인이 운전중 막히는 등의 문제가 발생함으로써 양질의 합성가스를 제조하는데 어려움이 있었다. 따라서, 양질의 합성가스 제조를 통한 가스화효율 증대를 위하여 상부호퍼 가압방식 개선, 미분탄 이송라인 개선, 하부호퍼 브리징 방지 개선, 미분탄 정량공급 개선, 미분탄 재충진 제어로직 개선 등의 5가지 항목에 대하여 미분탄공급장치 개선을 진행하였다. [그림 2]는 개선된 고압 미분탄공급장치의 구성도를 나타낸 것이다.

(1) 상부호퍼 가압방식 개선

상부호퍼는 미분탄을 일정량 저장하였다가 가압과 감압을 반복하는 방식에 의하여 상압 상태의 미분탄을 고압 상태의 하부호퍼에 공급하기 위한 설비로서, 기존 설비의 경우에는 가압시 내부에 채워진 미분탄이 가압 질소의 압력에 의하여 눌리면서 브리징 현상이 발생함으로써 미분탄을 하부호퍼로 공급하기 위한 밸브를 개방시에도 미분탄이 재충진되지 않는 문제점이 있었다. 따라서, 이러한 문제점 개선을 위하여 상부호퍼의 가압 라인을 하부의 콘(cone) 부분으로 이동하고, 2개의 가압라인을 상부호퍼 내부에 선회가 형성되도록 설치하였으며, 상부호퍼 외부에 2개의 air knocker를 설치하였다.



[그림 2] 개선된 고압 미분탄공급장치 구성도

(2) 하부호퍼 브리징 방지 개선

하부호퍼는 운전중 가압 상태로 유지되며 내부의 미분탄을 스크류피더 작동에 의해 일정량씩 공급하면서 이송 질소를 이용하여 기류 수송 하는 설비로서, 기존 설비에서는 상부호퍼와 마찬가지로 압력에 의해 내부에 충전된 미분탄의 브리징 현상이 발생함으로써 스크류피더를 통한 정량공급이 진행되지 못하여 양질의 합성가스 조성을 얻지 못하는 문제점이 있었다. 따라서, 하부

호퍼 내부에 베벨기어 방식의 2단 교반기를 설치하여 운전중 주기적으로 교반기가 회전하면서 내부벽면 전체를 교반시키도록 개선함으로써 브리징 현상 발생을 방지하였다.

(3) 미분탄 정량공급 개선

기존의 미분탄공급장치는 하부호퍼 내부에 설치된 레벨게이지 감지여부와 스크류피더가 회전함에 따라 일정량의 미분탄이 공급된다는 가정하에 하부호퍼 내부의 미분탄 충전상태를 확인하였기 때문에 실제 미분탄 공급량과 호퍼 내부에 남은 잔량을 파악하는데 어려움이 있었다. 따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 압축 방식의 3점식 로드셀을 적용하여 운전중 계속해서 무게변화를 측정함으로써 실제로 공급되는 미분탄의 양을 정확히 파악하여 안정적인 미분탄 공급이 가능하도록 구성하였다. 그리고, 스크류피더는 피치(pitch)의 간격을 줄이고 작게 제작하여 동일한 양의 미분탄을 공급하기 위해 필요한 회전수를 증가시킴으로써 미분탄이 단속적으로 공급되는 현상없이 일정하게 공급되도록 개선하였다.

(4) 미분탄 이송라인 개선

일정량의 안정적인 미분탄 공급을 통한 양질의 합성가스 제조를 저해하는 다른 요인으로 미분탄 입자들의 응집, 마찰 등에 의해 발생하는 이송라인 막힘현상이 있는데, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 공압 방식으로 구동되는 바이브레이터를 이송라인에 설치하였다. 그리고, 이송라인의 각 부분 차압을 계속해서 측정함으로써 운전중 차압이 증가할 경우 해당 바이브레이터가 진동하면서 막힘현상이 발생하지 않도록 구성하였다.

(5) 재충진 제어로직 개선

고압 미분탄공급장치는 상압의 미분탄을 가압상태의 하부호퍼로 재충진시 운전시 안전성 및 정확성을 필요로 하는데, 기존에는 계측기로부터 전달되는 차압 신호를 운전자가 모니터링 하면서 직접 밸브들을 조작하며 운전하였다. 그러나, 이러한 방법은 조작 실수로 인한 사고발생과 재충진 시간이 길어지는 요인이 되므로, 압력을 측정하는 각 계측기와 개폐밸브 사이에 interlock을 설정하는 방식으로 제어로직을 개선함으로써 빠른 시간내에 안정적인 재충진이 이루어지도록 구성하였다. 또한, 재충진시 정확성을 기하기 위하여 미량 가압밸브를 추가로 설치함으로써 재충진 시퀀스 실패를 방지하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 대상탄 및 실험조건

개선된 고압 미분탄공급장치를 이용하여 양질의 합성가스 제조를 위한 고온, 고압 가스

화 실험에서 대상탄으로는 아역청탄 계열의 인도네시아 Kideco탄을 사용하였으며, <표 1>과 같은 조건에서 실험을 진행하였다.

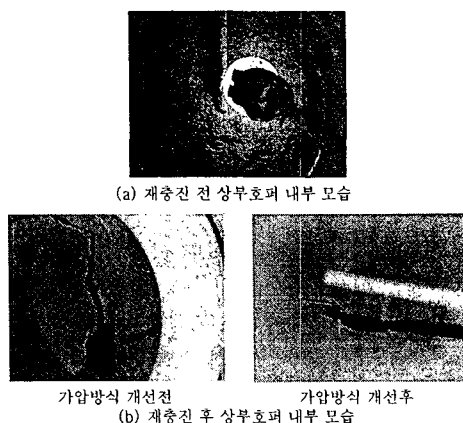
<표 1> 가스화기 및 고압 미분탄공급장치 운전조건

| 항 목 | 운 전 조 건 | 비 고 |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 대상탄 | Kideco | |
| 가스화기 운전압력 | 8 kg/cm ² | |
| 가스화기 운전온도 | 1400~1450 ℃ | |
| 미분탄 공급량 | 40 kg/h | 20 kg/h씩 2기에서 공급 |
| 산화제(O ₂) 공급량 | 26 Nm ³ /h | |
| O ₂ /Coal ratio | 0.85~0.9 | 무게비 |
| 미분탄 이송 질소 공급량 | 32 Nm ³ /h | 8 Nm ³ /h씩 4기에서 공급 |

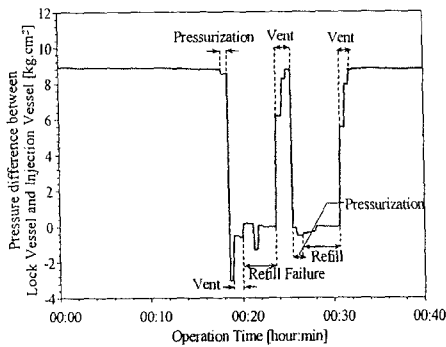
3-2. 석탄 가스화기 시스템 운전결과

고압 미분탄공급장치를 개선함으로써 양질의 합성가스 제조를 통한 가스화효율 증대 및 운전 신뢰성 확보를 위한 실험은 석탄 가스화기 운전온도 1450℃, 운전압력 8kg/cm² 조건에서 진행되었는데, 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템 운전결과는 다음과 같다. 먼저, [그림 3]은 고압 미분탄공급장치 상부호퍼 가압방식 개선 전후의 운전결과를 나타낸 것으로 (a)는 미분탄 재충진을 위하여 상압 상태의 상부호퍼에 미분탄이 채워진 모습이고, (b)와 (c)는 상부호퍼 가압과 감압을 통해 하부호퍼로의 미분탄 재충진을 완료한 후의 모습이다. 이 결과에 의하면 상부호퍼 가압방식 개선 전의 결과인 (b)에서는 상부호퍼 내부의 미분탄이 가압 질소에 의해 눌리면서 브리징 현상이 발생하여 재충진 후에도 미분탄이 하부호퍼로 공급되지 못하고 그대로 남아 있는 반면에, 개선 후의 결과인 (c)에서는 상부호퍼 내부의 미분탄이 모두 하부호퍼로 재충진됨으로써 내부가 깨끗이 비어있음을 알 수 있다.

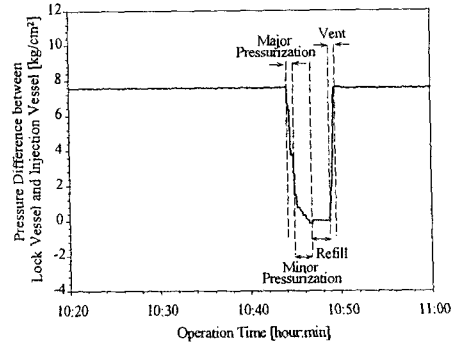
그리고, [그림 4]는 고압 미분탄공급장치 상부호퍼에서 하부호퍼로의 미분탄 재충진 제어로직 개선 전후의 운전결과를 나타낸 것으로, (a)에 나타난 개선전의 결과에서는 운전자가 직접 상부호퍼의 가압밸브 및 벤트밸브 등을 조작하다보니 상부호퍼와 하부호퍼의 차압을 미분탄 재충진 조건인 상부호퍼 압력이 하부호퍼 압력보다 0.3kg/cm² 이내의 범위에서 높게 유지하는 조건에 맞추지 못하여 상부호퍼를 완전히 벤트하고 일정시간 경과후 다시 가압하여 미분탄을 재충진하는 문제점이 있었다. 그러나, (b)에 나타난 개선후의 결과에서는 제어로직에서 설정된 값에 따라 상부호퍼와 하부호퍼의 차압이 1기압 될 때까지 주가압 밸브가 열리면서 상부호퍼의 가압이 진행되고, 이후 차압이 -0.1기압 이하가 될 때까지 미량 가압밸브에 의해 가압이 이루어지며 -0.1~-0.3kg/cm²의 범위에서 5초간 유지되면 중간 돔밸브가 열리면서 미분탄 재충진이 원활히 진행되었음을 알 수 있다.



[그림 3] 상부호퍼 가압방식 개선 전후의 운전결과 비교



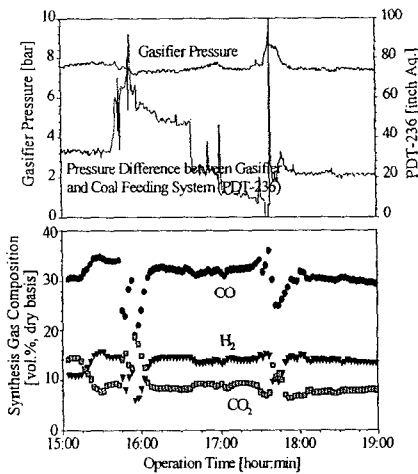
(b) 개선전



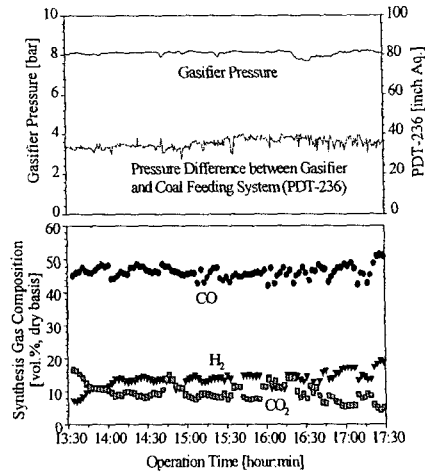
(b) 개선후

[그림 4] 미분탄 재충진 제어로직 개선 전후의 운전결과

[그림 5]는 고압 미분탄공급장치의 하부호퍼 브리징 방지 개선 및 미분탄 정량공급/이송 라인 개선 전후의 석탄 가스화기와 미분탄공급장치 사이 차압(PDT-236)변화 및 제조된 합성가스 조성변화를 비교한 결과이다. 이 그림에 의하면 (a)에 나타난 개선전의 결과에서는 운전중 미분탄공급장치 내부 및 이송라인 상에서의 막힘현상에 의해 차압변동이 크게 발생하면서 미분탄이 원활히 가스화기로 공급되지 못함에 따라 합성가스 조성이 감소하는 모습을 보여주고 있으나, (b)에 나타난 개선후의 결과에 의하면 운전중 미분탄의 막힘현상이 전혀 발생하지 않고 안정적으로 원활히 공급됨으로써 차압(PDT-236)이 30~40 inch Aq. 범위에서 일정하게 유지되었으며, CO 45~50%, H₂ 15~19%, CO₂ 5~10% 정도의 조성(dry basis)으로 양질의 합성가스가 제조되었음을 알 수 있다



(a) 개선전



(b) 개선후

[그림 5] 고압 미분탄공급장치 개선 전후의 차압 및 합성가스 조성 비교

4. 결론

고압 미분탄공급장치는 석탄 가스화기 시스템의 안정적인 운전여부를 결정하는 핵심 설비로서, 운전중 일정량의 미분탄이 계속해서 공급되는가의 여부에 따라 양질의 합성가스를 제조할 수 있는지가 결정된다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 미분탄공급장치에 대하여 상부호퍼 가압방식 개선, 미분탄 이송라인 개선, 하부호퍼 브리징 방지 개선, 미분탄 정량공급

개선, 미분탄 재충진 제어로직 개선 등을 진행하였으며, 그 결과 가압조건 운전시 미분탄공급장치 및 이송라인 상에서의 막힘현상 없이 정량적으로 미분탄이 원활히 공급됨으로써 고압 미분탄공급장치와 석탄 가스화기 사이의 차압이 30~40"W.C 범위에서 일정하게 유지되면서 CO 45~50%, H₂ 15~19%, CO₂ 5~10% 정도의 조성(dry basis)으로 개선전에 비하여 양질의 합성가스를 제조할 수 있었다. 또한, 고압 미분탄공급장치의 미분탄 재충진 제어로직 개선 및 미량 가압밸브 설치를 통하여 기존에 발생하였던 재충진 실패의 요인을 해결함으로써 3톤/일급 석탄 가스화기 시스템의 운전 신뢰성을 확보할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 가스화 복합시스템 연계 실증 및 모사기술 개발, 산업자원부 (2002)
2. 석탄가스화 복합발전 기반기술 개발, 산업자원부 (2000)
3. S.W.Chung, Y.D.Yoo, Y.Yun, "Development of Synthesis gas Production Technology Using 3 Ton/Day Coal Gasification System", 21th Pittsburgh Coal Conference (2004)

감 사

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터에서 지원하는 에너지자원기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.