

## Pilot 규모 2단 형상 가스화기 운전특성 실험

\*홍 진표, 정 재화, 서 석빈, 지 준화, 이 승중, 정 석우

### The operation Characteristic of Pilot-scale 2-Stage Coal gasifier

\*Jinpyo Hong, Jaehwa Chung, Seokbin Seo, Junhwa Chi, Seungjun Lee, Sukwoo Chung

**Abstract** : Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) power plant converts coal to syngas, which is mainly composed with hydrogen and carbon monoxide, by the gasification process and produces electric power by the gas and steam turbine combined cycle power plant. The purpose of this study is to investigate the influence of gasification process to type and structure of gasifier. For this purpose, the performance characteristics of gasification reaction are analyzed with the operation characteristic of pilot-scale 2-stage coal gasifier. It is found that gasification reaction, floating characteristic of melted slag, particle stick of inside of the gasifier, particle stick and deposit of Syngas cooler are the causes in the different performance characteristics.

**Key words** : IGCC(석탄가스화복합발전), gasifier(가스화기), Syngas cooler(합성가스냉각기), Carbon conversion(탄소전환율), Cold gas efficiency(냉가스효율)

## 1. 서 론

석탄가스화기(IGCC)는 고체연료인 석탄을 가스화하고 일정 성상의 석탄가스( $H_2$ , CO)를 얻음과 동시에 석탄중의 회분을 용융슬래그 상태로 안정하게 배출하는 플랜트이다. 석탄 가스화 플랜트 개발 초기엔 고정층 가스화 방식이 채택되었으나 현재 분류층 가스화 장치로 기술목표가 바뀌고 있다. 이는 고정층 및 유동층 가스화 장치 등은 석탄 종류에 대한 제한성과 반응속도 등이 느려 부하 추종성이 떨어지는 것으로 평가되고 있는 반면 분류상 가스화 장치는 광범위한 영역의 탄종에 적합하고 타공정에 비해 가스화 장치를 대용량으로 설계 가능하며 부하변동에 따른 적응력이 뛰어나기 때문이다. 이러한 분류층 공정의 기능을 갖춘 고효율이고 신뢰성이 높은 가스화기로 개발하기 위해서는 가스화기내에서 발생하는 다양한 현상들인 가스화 반응, 용융슬래그 유동 배출특성, 가스화기 벽면에서의 입자부착, 열교환기에서의 입자부착 및 퇴적 등 가스화기 운전특성을 규명하는 것이 중요하다. 또 각각의 운전특성 현상규명 연구에서 얻은 결과를 기반으로 가스화 특성을 종합적으로 평가하여 상용화설비 개발시 발생할 수 있는 시행오차를 최소화하는데 대비하고 기반기술을 구축하는 것이 필요하다.

특히 석탄 가스화 반응에서 회분이 용융되며 발생하는 비산슬래크는 후단 공정의 배관이나 열교환기 표면에 부착되어 생성가스 관로에 막힘현상을 초래할 수 있으며 실제 가스화기 운전시 이러한 파울링 및 슬래크 부착성향은 기본적인 석탄의 물성치만으로 예측하는데 어려움이 있다. 따라서

Pilot 규모의 가스화기 운전특성 실험을 통해 파울링 현상에 대한 비산슬래크의 점착특성에 대한 연구가 필요하다.

## 2. 실험 조건

가스화 공정중 가장 중요한 공정으로 가스화 반응기의 형식 및 구조, 원료탄종, 가스화제, 반응 조건 등에 따라 생성되는 가스 성분과 성질이 달라질 수 있다. 이들 변수중에 가장 중요한 것은 가스화 반응기의 형식과 구조가 가장 중요하다. Pilot 규모의 가스화기 형식과 구조는 가스화기 1실 2단 형상으로 석탄가스화기 시스템을 구성하는 설비는 그림 1과 같다. 최대 석탄 처리용량 3톤/일급 규모의 설비로서 가스화기에 공급하기 위한 분쇄/건조 석탄 전처리계통, 미분탄을 기류 수송방식에 의해 가스화기에 공급하기 위한 고압 미분탄공급계통, 미분탄과 산소의 가스화반응에 의하여 CO,  $H_2$ 가 주성분이 합성가스 냉각계통, 합성가스 중에 포함된 분진 및 산성가스를 제거하기 위한 합성가스 정제계통으로 구성되었다. 2단 가스화기 middle section 설치에 따라 4기의 기존 고압 미분탄공급장치중 A,B,C번은 1단 노즐에 D번은 2단 노즐에 미분탄 공급을 적용하였다. 2단 가스화기 middle section의 미분탄 이송라인은 분기 후 대칭으로 구성하여 2개의 노즐로 미분

1) 한전전력연구원 녹색성장연구소  
E-mail : hongjp@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5351 Fax : (042)865-5345

탄 공급을 위하여 차압트랜스미터 및 볼밸브를 설치하였다. 또한, 가스화기의 안정적인 운전을 위해 합성가스냉각기 및 후단냉각설비를 개선하여 실험을 수행하였다.

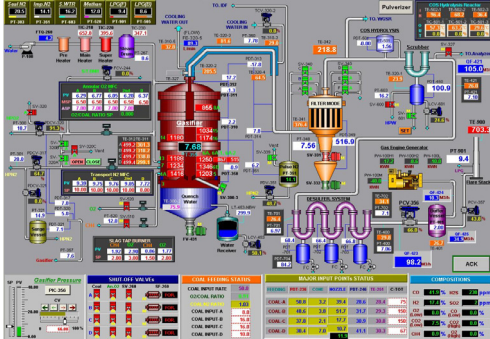


Fig.1 Pilot-scale 2-stage coal gasifier

가스화 용융 실험의 운전조건 및 실험결과를 예측하기 위해서는 투입 연료로 사용된 석탄들의 기본 특성에 대한 이해가 필요하다. 이를 위해 실험용 대상탄인 인도네시아 ABK탄의 공업분석, 원소분석, 회재 유동점 및 물성을 Table 1과 같이 분석한 결과 고정탄소가 47%정도 함유한 회유동점은 1290℃로 분석되었다. 보통 1200℃ 이상의 회유동점을 가진 석탄의 원활한 가스화 반응을 일으키기 위해서 가스화기 운전온도는 사용된 석탄의 회 유동점보다 약 150~200℃ 이상에서 운전하게 된다.

Table 1 Analysis of ABK Coal

|   |                 |       |
|---|-----------------|-------|
| Proximate Analysis <sup>1)</sup>            | Moisture        | 6.77  |
|   | Volatile Matter | 40.07 |
|   | Ash             | 5.90  |
|   | Fixed Carbon    | 47.26 |
| Ultimate Analysis <sup>2)</sup>             | C               | 68.16 |
|   | H               | 5.62  |
|   | N               | 2.69  |
|   | S               | 0.40  |
|   | O <sup>3)</sup> | 18.94 |
| Ash Fusion Temperature(℃)                   | IDT             | 1,230 |
|   | ST              | 1,250 |
|   | HT              | 1,270 |
|   | FT              | 1,290 |
| Gross Heating Value <sup>2)</sup> (kcal/kg) |                 | 6,576 |

주: 1)As Received 2)Moisture Free Basis 3)by difference.

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3.1 미분탄 공급장치 Cold test

고압 미분탄공급장치는 가스화기 시스템의 안정적인 연속운전을 진행하는데 있어서 핵심적인 설비로서, 정량적인 미분탄의 공급여부에 따라 합성가스 조성, 가스화기 운전 온도 및 압력 등의 변동이 발생하게 된다. 기류수송장치 미분탄 이송라인에 분기장치(splitter)를 설치한 후 이송라인을 대칭형으로 구성한 상태에서 2개의 receiver tank와 미분탄공급장치 사이의 차압을 일정하게 유지하며 미분탄 분기공급을 위한 실험

결과 기류수송장치는 미분탄이 이송되는 라인 크기, 가스화기와 injection vessel 사이의 차압에 의해 공급량이 결정되는 것을 볼 수 있다.

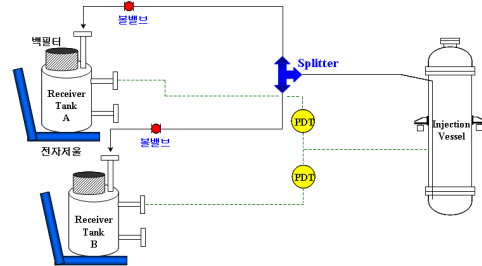


Fig.2 Cold test device of pulverized feeding

이송라인에 설치된 볼밸브 조정에 따라 미분탄 공급량 편차가 감소하여 분기된 각 이송라인에 균일하게 미분탄이 공급되었다.

가스화기와 Injection vessel의 차압이 크므로 운전 중 역화발생 가능성이 감소되어 안정적인 운전이 가능하였다.

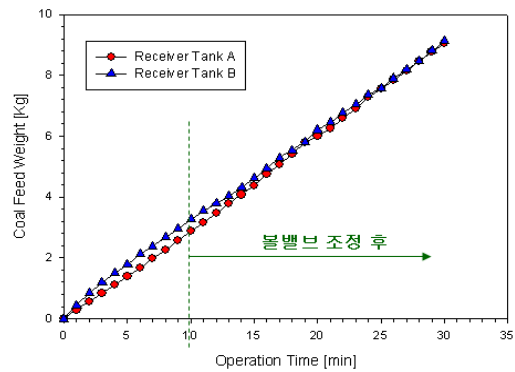


Fig.3 The results of cold test of pulverized feeding

미분탄 이송라인 분기 Hot test 결과 분기된 2개의 미분탄(D-1 & D-2) 차압이 거의 동일하게 유지됨으로써 균일한 미분탄 공급이 안정적으로 진행되는 것을 확인하였다.

#### 3.2 합성가스 냉각장치 후단 배관 운전결과

석탄 가스화 반응에서 회분이 용융되며 발생하는 비산슬래크은 후단 공정의 배관이나 열교환기 표면 또는 가스화기 출구 Cap cooler에 Ash막힘 현상이 발생하여 Syngas cooler 출구에서 관경이

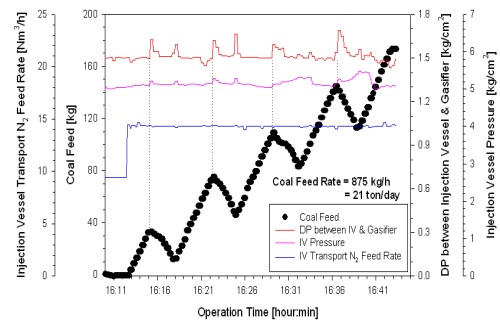


Fig.4 The results of cold test of pulverized feeding

작아짐으로 인해 배관 막힘 현상이 발생하여 합성가스 냉각장치 후단 배관을 개선하였다.

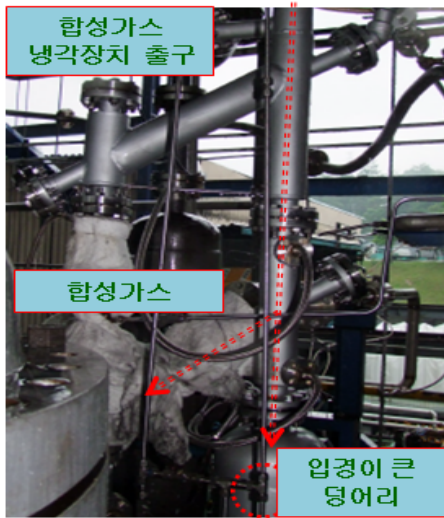


Fig.5 Improvement of pipe laying of syngas cooler

개선결과 2단 가스화기 합성가스 냉각장치 단별 차압은 -20inch H2O에서 +20inch H2O로 양호한 운전결과가 나타났다.

### 3.3 2단 석탄가스화 합성가스 조성

Pilot 규모의 2단 형상 가스화기 실험은 3t/d 1단 건식 가스화기를 개조한 2단 가스화기 성능과 운전특성을 알아보기 위하여 석탄가스화기 7kg/cm<sup>2</sup>의 압력조건과 운전온도는 1350~1400℃를 유지하여 실험을 수행하였다. 가스화기 1단으로 석탄과 산화제를 주입하여 가스화기 운전을 안정화하고 2단에는 총 석탄주입량의 10% 석탄을 주입하였다. 고압 미분탄장치는 운전초기에 A,C 2기를 이용하여 각각 20kg/h 조건으로 미분탄을 공급하였으며 일정시간 경과하면서부터 B,D도 가동하여 4기의 미분탄공급장치에서 각각 10kg/h 조건으로 40~50 kg/h 미분탄을 공급하였다. 석탄을 가스화기의 내부온도 유지 및 미분탄 회분의 용융을 위하여 산화제공급량은 36~39Nm<sup>3</sup>/h, 미분탄 공급수송을 위한 질소가스는 4개의 미분탄 공급시스템에 각각 43~46Nm<sup>3</sup>/h 조건으로 공급하였다.

Table 2 Operation condition of 3t/d coal gasifier

| 항 목           | 운전조건                        | 비고       |
|---------------|-----------------------------|----------|
| 가스화기 운전압력     | 7.4 ~ 7.8kg/cm <sup>2</sup> |          |
| 가스화기 운전온도     | 1350 ~ 1400℃                |          |
| 미분탄 공급량       | 40 ~ 50 kg/hr               | 1단/2단 포함 |
| 산소(산화제) 공급량   | 36 ~ 39Nm <sup>3</sup> /hr  | "        |
| 미분탄 이송질소 공급량  | 43 ~ 46nm <sup>3</sup> /hr  | "        |
| 질소, 산소 공급량 제어 | MFC                         | 개별제어     |

스팀공급에 따른 합성가스 조성변화를 살펴보

고자 가스화기 2단 상부에 스팀량을 공급하였는데 미분탄공급량(40kg/h)기준으로 20%(8kg/h)을 공급하여 시험을 수행하였다. Table 2는 이번 실험에서의 가스화기 및 고압미분탄공급장치의 운전조건을 나타낸 것이다.

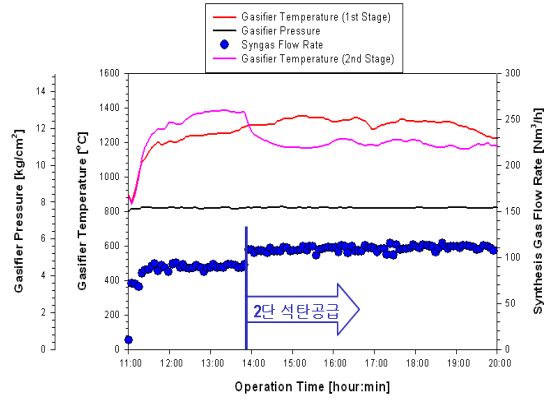


Fig.6 Operation profile of 2 stage coal gasifier

가스화 반응을 위한 산소의 공급량은 무게비로 미분탄 공급량의 0.85~0.9 정도에서 운전을 진행하였으며, 이 때 합성가스 조성은 평균적으로 CO 43%, H<sub>2</sub> 18~20%, CO<sub>2</sub> 7~10%정도의 양질의 합성가스를 제조할 수 있으며 Fig.7과 같다. 가스화기 1단의 온도는 1350℃정도였고, 2단의 온도는 1200℃정도로 미분탄의 흡열로 인해 합성가스온도가 떨어져 출구 가스온도를 낮출수 있었다. 또한 합성가스 발생유량은 100~110Nm<sup>3</sup>/h 정도로 측정되었다.

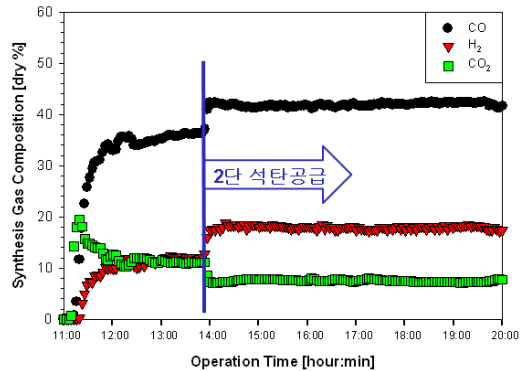


Fig.7 Synthesis gas composition of 2 stage coal gasifier

### 3.4 탄소전환율 및 냉가스효율

2단 석탄가스화기의 운전결과 공급된 석탄내의 탄소량이 생성가스의 탄소량으로 전환되는 비율을 나타내는 탄소전환율(Carbon conversion)이 82%, 공급된 석탄의 발열량이 생성가스의 발열량으로 전환되는 비율을 나타내는 냉가스효율(Cold gas efficiency)은 60%이상을 달성하였다.

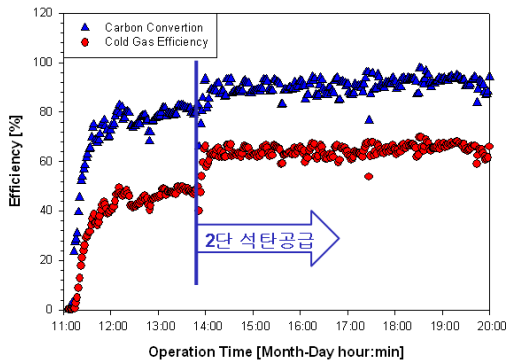


Fig.8 Carbon conversion & Cold gas efficiency of 2 stage coal gasifier

### 3.5 고온집진시스템 운전결과

운전결과를 살펴보면 가스화기 운전압력은  $7\text{kg/cm}^2$ , 발생된 합성가스 유량은  $105\text{ Nm}^3/\text{h}$  정도이며, 고온집진시스템 입구온도는 약  $225^\circ\text{C}$ 에서 출구온도는 약  $175^\circ\text{C}$ 에서 유지되었다. 운전에 사용된 필터는 국산 금속필터를 12개 설치하였다. 집진필터에 걸리는 차압은 전체적으로  $30\sim 50\text{cmH}_2\text{O}$  정도에서 유지되었으며 역세정의 경우 5분 간격으로 2개의 집진필터를 역세정하여 전체적으로 30분 동안 1 cycle이 이루어지도록 하여 0.5초간 역세정을 진행하였다. 이때 사용된 역세정 질소압력은 14.5 기압을 유지하였다. 실험 후 각 고온집진시스템에 대해 이상 유무를 판단하기 위하여 inspection을 실시하였는데 각 필터에 분진층이 형성되어 있는 것을 확인하였다.



Fig.9 Metal filter surface after operation test

### 3.6 슬래크 및 비산재

석탄 가스화 실험후 발생되는 가스화기 하부에 위치하고 있는 슬래크 탱크에 물을 저장하여 고온의 용융된 슬래크이 슬래크 탭을 따라 슬래크 탱크 내의 물에 떨어져 냉각되는 급냉 시스템으로 만들어졌으며 실험이 종료된 후에 하부로 배출되도록 하였다. ABK탄 슬래크의 형태 및 슬래크의 단면을 500배 확대한 SEM 사진은 그림 10과 같으며 이를 살펴보면 슬래크의 형태는 단단하고 납작한 구형, 깨진 모양, 길쭉

한 모양 등 여러 형태를 보여주고 있다. 이와 같이 가스화 용융 실험 후에 발생된 슬래크의 형태가 다양한 것은 고온으로 용융된 슬래크의 냉각 속도에 기인한 것이다.



Fig.10 The photograph of slag

### 3.7 분진의 입도분석

운전된후 석탄가스화기 후단 설비인 집진설비 입구배관, 필터표면, 하부호퍼, 출구배관 등에서 채취된 비산 용융회재를 입도분석하여 가스화 실험에 사용된 ABK 미분탄의 입도 분포도와 비교하였는데 그 결과는 Fig.11과 같다. 가스화기에 사용된 ABK 미분탄은  $1\sim 100\mu\text{m}$ 의 입자크기를 가지며 평균입도는 약  $31\mu\text{m}$ 인데  $7\text{kg/cm}^2$ 으로 가스화 운전한 후 채취한 회재는 미분탄의 입자크기보다 작게 분석되었다. 이는 석탄이 가스화 반응을 일으키고 나서 발생되었기 때문에 발생된 회재의 입자가 미분탄보다 작은 입자 분포로 나타났고 후단 설비로 갈수록 작은 입자들이 포집되었음을 알 수 있었다.

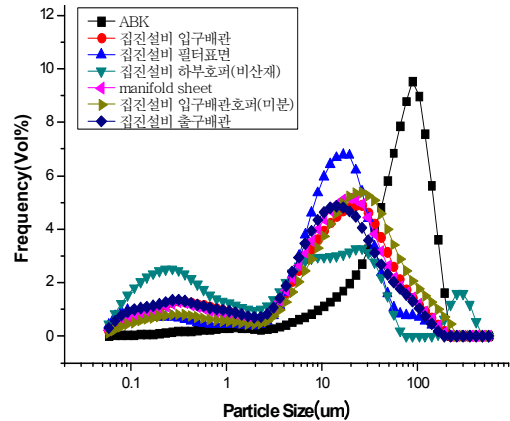


Fig.10 The photograph of slag

## 4. 결론

Pilot 규모 2단 형상 가스화기 운전특성 실험 결과 각 단별 미분탄의 기류 수송이 가스화기와 Injection vessel 사이의 차압에 의해 균일하게 안정적으로 공급되는 것이 실험적으로 관찰되었다. 또한 합성가스 냉각장치 후단 배관 개선결과 비산슬래크에 의해 배관이나 Syngas cooler 표면에

막힘 현상의 발생 없이 안정적으로 운전할 수 있었다.

이러한 안정적인 운전상황을 바탕으로 2단 형상 가스화기 운전실험결과 합성가스 조성은 CO 43%, H<sub>2</sub> 18~20%, CO<sub>2</sub> 7~10%정도의 양질의 합성가스를 제조할 수 있었고 슬랙의 형태도 구형 등으로 양호 하였으며 분진 입도분포도 후단으로 갈수록 작은 입도분포를 나타내었다.

탄소전환율(Carbon conversion)이 82%, 냉가스효율(Cold gas efficiency)은 60%이상으로 냉가스 효율이 낮게 나타났는데 이는 2단 연소에 의한 미연탄소가 많았던 것으로 2단 연소시는 반드시 집진기 하부에서 미분탄공급장치로 재순환하는 장치를 설치하여 탄소전환율과 냉가스 효율을 높일 필요가 있음을 확인하였다.

본 운전특성 실험은 미분탄을 10시간 정도 주입한 운전상황을 고려한 것으로 비산 슬랙에 의한 각 설비에 어떠한 영향을 미칠지는 장기간 운전을 통해 설비 신뢰도 및 성능을 파악할 필요가 있어야 한다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원의 신재생에너지 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 윤용승, 'High Temperature Gasification/Melting Technology for Energy and Environmental Application', Energy Efficiency & Conservation Training Program, 2004.
- [2] 정석우, 함동수, 윤용승, '3톤/일급 석탄 가스화기 시스템의 합성가스 정제용 고온집진장치 운전 특성', 한국공업화학회 추계학술발표회, 2004
- [3] 윤용승, 이계봉, 장석우, '국산 금속필터를 사용한 석탄가스내 입자의 고온 집진', 한국화학공학회/공업화학회 공동학술대회, 2004
- [4] 정석우, 윤용승, 정우현, 김문현, '가스화효율 증대를 위한 고압 미분탄 공급장치 개선에 관한 연구', 한국에너지공학회 추계학술대회, 2004
- [5] 주지선, 정석우, 정우현, '분류층 석탄가스화기에서 석탄주입조건에 따른 유동특성 고찰', 공업화학회 추계학술대회, 2005
- [6] Yi,C.K. "Current Status of Syngas Cleanup Technology in Korea" 2003 APEC Clean Fossil Energy Technical and Policy Seminar, CD-Rom, 2003.