

PDTF를 이용한 석탄가스화 특성 실험

신용승 · 최상민 · 안달홍*

한국과학기술원 기계공학부 열공학연구실
*한전 전력연구원

Pressurized Drop Tube Furnace Tests of Global Gasification Characteristics of coal

Yongseung Shin, Sangmin Choi and Dal-Hong Ahn*

Korea Advanced Institute of Science and Technology
*Korea Electric Power Research Institute

요 약

가압 조건하에서의 석탄가스화 특성을 규명하기 위해, 온도, 압력, 산소/석탄비, 수증기/석탄비 등을 변화 시켜가며 로도탄(Sub A)에 대하여 PDTF(Pressurized drop tube furnace) 실험을 수행하였다. 실험결과, 상압 조건에서보다 가압조건에서의 가스화가 탄소전환율과 냉가스효율의 측면에서 더 유리한 것으로 측정되었다. 최대의 냉가스효율을 보이는 산소/석탄비(무계기준)는 0.5~0.7(g/g)로 측정되었고, 온도가 충분히 높은 경우에만 수증기/석탄비의 증가가 냉가스효율의 증가를 가져왔다. 압력이 증가할수록 열분해에 의한 탄소전환의 비중은 감소하고 대신 기고반응에 의한 탄소전환의 비중이 증가하였다.

Abstract — PDTF (Pressurized drop tube furnace) experiments using variations of temperature, oxygen/coal ratio, steam/coal ratio and pressure with Roto coal (Sub A) were performed in order to investigate the effects of these experimental parameters on global gasification characteristics at elevated pressure. The results shows that the gasification at elevated pressure is more profitable than that at atmospheric pressure considering the carbon conversion and cold gas efficiency. The oxygen/coal ratio at which maximum cold gas efficiency was appeared ranged from 0.5 to 0.7 g/g. Only when the temperature is sufficiently high enough, the raise of steam/coal ratio brings improvement of cold gas efficiency. As the pressure increased, the volume of carbon conversion by heterogeneous reaction increased but the volume of carbon conversion by pyrolysis decreased relatively.

1. 서 론

석탄을 이용한 발전방식으로 지금까지는 석탄 연소에 의한 방식이 주류를 이루어 왔으나, 점차 연료의 효율적 이용과 환경에 대한 관심이 높아지면서 IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) 등과 같은 석탄 가스화를 중심으로 한 새로운 형태의 발전방식이 관심을 모으고 있다. 석탄 가스화 공정 자체는 상압 혹은 가압 어느 조건에서나 운전 가능하지만, IGCC의 경우 가스화기 이후의 공정이 대부분 가압조건에서 운전되기 때문에 전체 시스템의 효율 측면에서 가스화기를 가압조

건에서 운전하는 것이 더 유리하다¹⁾.

석탄 가스화 공정은 탄종과 운전조건에 따라 그 반응 특성의 편차가 매우 심하기 때문에, 가압 가스화기의 올바른 분석, 설계, 시뮬레이션 등을 위해서는 무엇보다도 가압조건에서의 가스화 특성에 대한 정보가 필요하다. 문헌을 조사해 보면 상압조건에서의 가스화 특성에 대한 정보는 많은 반면, 가압조건에서의 가스화 특성에 대한 정보는 상대적으로 빈약한 실정이다. 더욱이 시험 탄종의 대부분이 자국위주로 선정되었기 때문에 우리나라에 많이 수입되는 석탄에 대한 가압조건에서의 가스화 특성에 대한 정보는 거의 전무한 실정이다. 따라서 앞

으로 국내에서 운용될 가압 가스화기의 분석, 설계, 시뮬레이션 등을 수행하기 위해서는 우리 나라에 수입되는 탄종에 대한 가압조건에서의 가스화 특성에 대한 데이터 베이스를 구축할 필요가 있다.

이러한 목적을 위하여 가압조건에서의 분류층 가스화 특성을 연구할 수 있는 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 상용 가압 가스화기 내에서 석탄입자가 겪게 되는 반응환경을 가장 잘 모사할 수 있다고 알려진 PDTF(Pressurized Drop Tube Furnace)형태로 제작되었다.

본 실험장치를 이용하여 국내수입 탄종들에 대한 일련의 가압 실험이 계획되었고, 그 첫 단계로 수입탄 중의 하나인 로토탄(Sub A)에 대한 global gasification(열분해+기반응+기고반응) 실험이 수행되었다. 본 논문에서는 온도, 압력, 산소/석탄비, 수증기/석탄비 등의 실험 변수가 가압조건에서의 global gasification에 미치는 영향을 탄소전환율, 냉가스효율, Product gas yield 등의 관점에서 설명하였다. 그 밖에 가압조건하에서의 열분해와 기고반응의 관계를 분석하였다.

2. 실험

2-1. 시험탄종

본 연구의 시험탄종으로는 국내 수입탄 중 하나이며, 반응성이 좋고 가스화공정에 적합한 석탄으로 알려져 있는 인도네시아산 아역청탄인 로토탄을 선정하였다. Table 1에서 알 수 있듯이, 로토탄은 수분함량(2.53%)과 회분함량(1.55%)이 낮고, 휘발분함량(47.97%)이 높은 탄이다

본 실험에서는 가스화기의 운전변수가 global gasification(열분해+기반응+기고반응)에 미치는 영향을 평가하기 때문에, 별도의 시험용 화를 준비하지 않고 원탄을 그대로 사용하였다. 단, 입자크기에 따른 반응특성의 차이를 최소한으로 줄이기 위해, 일반적인 미분탄의 입자크기(표준망체 200 mesh 통과 80% 이상) 가운데, 200

mesh는 통과하고 230 mesh는 통과하지 않는 크기의 입자만을 사용하였다

2-2. 실험장치

본 연구를 위하여 가압조건에서 운전가능한 PDTF 형태의 실험장치를 설계 제작하였고, 그 개요도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 장치는 크게 주반응기, 예열기, 가스공급부, 입자공급부, 가스채집부, 배가스처리부, 가스분석기 등으로 구성되어 있다. 최고압력 25 atm, 최고온도 1600°C, 최대석탄이송율 10 g/mm까지 운전이 가능하며, 분위기 가스의 조성과 입자 체류시간의 조절이 가능하다.

주반응기는 외부가열형의 하향 층류 반응기로, 알루미늄 반응관(내경 52 mm, 길이 1 m), Heating Element(Super Kanthal), 캐스터블, 압력용기로 구성되어 있다. 상부에 설치된 입자투입관을 통해 석탄입자가 투입되며, 입자투입관은 상하이동이 가능하다. 예열기는 2차가스의 온도를 일정수준까지 상승시킨 후 주반응기에 공급하는 역할을 하며, 그 구조는 주반응기와 비슷하다. 가스공급부는 가스, 유량조절기, 메타링 펌프 등으로 구성되어 있으며, O₂, N₂, H₂O 등의 2차가스를 정량적으로 공급하는 역할을 한다. 입자공급부는 석탄이송기, N₂, 유량조절기로 구성되어 있다. 석탄이송기는 스크류 형태로 제작되었으며, 석탄이송율은 스크류의 회전속도로 결정된다. 실험을 수행함에 있어 가장 많은 문제가 발생한 장치인 석탄이송장치이며, 막힘, 비정상적인 이송율 등과 같은 문제들을 해결하기 위해 다양한 방법(진동, 스크류 핏치의 변경...)이 취해졌으며, 매 실험마다 석탄이송율에 대한 보정작업을 수행하였다. 가스채집부는 샘플링 프로브, 사이클론, 필터, 콘덴서로 구성되어 있다. 배가스처리부는 시스템의 전체압력을 조절하는 압력조절밸브와 가스유량계로 구성되어 있다. 가스분석기(Mass Spectrometer, Prina 600)는 가스채집부를 통과하면서 입자

Table 1. Properties of Roto coal.

| Particle size | 200~230 mesh | |
|--------------------------------|--------------|-------|
| Ultimate analysis (%, dmmf) | C | 70.00 |
| | H | 5.24 |
| | O | 23.58 |
| | N | 1.01 |
| | S | 0.17 |
| Proximate analysis (%) | Moisture | 2.53 |
| | VM | 47.97 |
| | FC | 47.95 |
| | Ash | 1.55 |
| HHV | 6213 cal/g | |

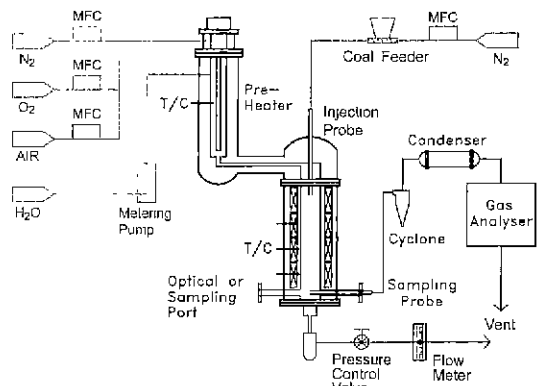


Fig. 1. Schematic drawing of experimental apparatus.

와 수분이 제거된 배가스의 조성을 on-line으로 측정하는 역할을 하며, 실험 전에 주기적인 보정과정도 수행되었다.

2-3. 실험조건

본 연구에서는 상용 가스화 공정의 주요변수인 온도, 압력, 산소/석탄비(무계기준), 수증기/석탄비(무계기준) 등 4개 변수를 실험변수로 선정하였고, 각각의 실험변수를 체계적으로 변화시켜 가면서 매 실험조건마다 가스분석기를 이용하여 배가스의 조성을 측정하였다. Table 2에 각 테스트에 설정된 실험변수의 범위를 나타내었다. 테스트 2에서 산소/석탄비의 범위를 0.3 g/g부터 1.5 g/g까지 변화시켜 가능한 한 넓은 범위에서의 산소/석탄비의 영향을 측정하려고 하였다. 본 연구에서의 산소/석탄비 범위는 당량비 기준으로 볼 때 완전연소에 필요한 산소량의 약 14%에서 70%에 해당한다. 테스트 3, 4에서 산소/석탄비를 0.7 g/g로 설정한 것은 테스트 2의 실험결과 이 근방에서 최대의 냉가스효율을 나타내었기 때문이다. 측정된 배가스의 조성을 바탕으로 가스화기의 성능을 나타내는 주요지수인 탄소전환율과 냉가스효율, Product gas yield 등을 계산하였다. 테스트 2의 경우에는 산소/석탄비=0.0 g/g의 조건을 추가하여 기압조건에서의 열분해 특성도 같이 측정하였다

실험조건으로 설정된 압력과 온도가 매우 높기 때문에 실험장치의 안전성을 높이고 폭발 등의 안전사고를 예방하기 위해 분위기 가스에 질소를 투입하여 분위기 가스의 산소농도를 공기보다 적게 하였다. 입자의 체류시간은 반응길이와 입자의 평균속도로 계산된다. 입자의 속도는 측정하지 못하였으며, 본 실험의 장치와 실험조건에서 입자속도를 계산하기 위해 일반적으로 많이 사용되고 있는 Stokes의 법칙을 사용하여 입자의 속도변화를 수치적으로 계산하였다. 본 실험의 입자크기와 실험조건에서, 입자가 종말속도에 도달하는 시간이 100ms 이하로 매우 짧았기 때문에 입자의 평균속도는 종말속도로 가정하였다. Table 2에 입자 체류시간의 계산결과를 나타내었다. 테스트 2, 4와 같이 반응압력을 변화시키는 경우, 분위기 가스 및 석탄의 투입량을 압력이 증가한 만큼 동일한 비율로 증가시켜, 반응압력이 변화하더라도 입자 체류시간이 일정하게 유지되도록 유량조건

을 설정하였다. 본 연구에서는 상기한 4개 실험변수가 가스화 특성에 미치는 전반적인 영향을 고찰하였기 때문에, 샘플링 프로브의 측정위치를 일정하게 고정시키고 일정 체류시간이 경과한 후의 최종 생성물 기준으로 가스화 특성을 측정하였다. 하나의 특정한 실험조건에서 측정위치를 변화시켜 가며 체류시간별로 가스화 특성을 측정하는 맵핑(mapping) 실험은 수행하지 않았다

2-4. 각종지수 계산

본 실험에서는 배가스의 조성을 이용하여 global gasification 특성을 파악하였다. 이를 위하여 배가스 중 N_2 , O_2 , CO , CO_2 , H_2 , CH_4 조성을 가스분석기로 측정하였다. 가스분석기는 dry base로 배가스의 조성을 체적백분율로 측정한다. 가스분석기의 측정치를 바탕으로 global gasification 과정에서의 주요 생성가스인 CO , CO_2 , H_2 , CH_4 의 Yield(석탄의 단위질량[g] 당 가스발생량[, STP])를 계산하였고, 이를 위하여 N_2 를 기체 tracer로 사용하였다. 즉, 반응기에 투입되는 N_2 의 총량과 배가스중의 N_2 의 총량이 일정하다고 가정하였다. 일반적으로 tracer 가스로는 Ar 등이 많이 사용되나, 본 연구의 시험탄종인 로토탄의 경우 질소성분이 1.01%에 지나지 않아 N_2 를 tracer 가스로 사용하는 것은 타당하리라 생각된다. 이러한 가정하에 Product Gas Yield를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Product Gas Yield [l/g]} = \frac{\text{Amount of nitrogen input} \times \text{Measured Product Gas Volume \%}}{\text{Measured } N_2 \text{ Volume \%} \times \text{Gas Volume \%}} \times \text{Amount of coal input}$$

탄소전환율은 문헌상에 여러 가지 정의가 있는데, 본 연구에서는 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Carbon Conversion Ratio [\%]} = \frac{\text{CO Yield} + \text{CO}_2 \text{ Yield} + \text{CH}_4 \text{ Yield}}{\text{Amount of coal input}} \times 100$$

냉가스효율은 석탄가스화의 효율을 나타내는 중요한 변수로 고체상태의 에너지가 얼마나 기체상태의 에너지로 전환되었는가를 나타내는 인자이다. 여기서 가연가스는 H_2 , CH_4 , CO 를 포함한다.

Table 2. Experimental conditions.

| Test | Temperature (°C) | Pressure (atm) | O ₂ /Coal ratio (g/g, daf) | Steam/Coal ratio (g/g, daf) | Resi. time (sec) |
|------|------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | 1100~1400 | 1 (Fixed) | 0.4~1.0 | 0 (Fixed) | 2.7~3.2 |
| 2 | 1400 (Fixed) | 1~15 | 0, 0.3~1.5 | 0 (Fixed) | 4.2 |
| 3 | 1000~1400 | 15 (Fixed) | 0.7 (Fixed) | 0~0.4 | 4.1~4.9 |
| 4 | 1400 (Fixed) | 5~15 | 0.7 (Fixed) | 0~0.4 | 4.1 |

Cold Gas Efficiency [%]

$$= \frac{\sum \left(\text{Inflamable Gas Yield} \times \text{Caloric Value of Inflamable Gas} \right)}{\text{Amount of Coal Input} \times \text{Caloric Value of Coal}} \times 100$$

이외에 생성가스 중 H₂/CO ratio와 CO₂/CO ratio를 계산하였다. H₂/CO ratio는 합성가스(H₂, CO)를 이용하여 대체천연가스(SNG, 주로 CH₄)를 생산하는 공정에서 매우 중요시되는 변수이다.

3. 실험 및 고찰

Fig. 2는 여러 압력조건에서의 석탄가스화 특성을 산소/석탄비(무게기준)의 함수로 나타내었다. 실험조건(입경 11~20 μm, 온도 1500°C, 체류시간 4.8 sec)이 다르기는 하지만 로토탄을 대상으로 수행된 Lee 등¹²의 DTF 상압 가스화 결과를 같이 도시하였다. 동일한 상압조건에서 Lee 등의 탄소전환율 측정치가 본 결과보다 더 높은 것은 입경이 작고 반응온도가 더 높기 때문으로 생각되어 진다.

상압조건과 마찬가지로 기압조건에서도 산소/석탄비가 증가함에 따라 탄소전환율은 계속 증가하고, 냉가스효율은 증가하다 최고치를 보인 후 감소하는 경향을 나타내고 있다. 일정한 산소/석탄비를 넘어가면서 냉가스효율이 감소하기 시작하는 것은 잉여산소가 CO, H₂, CH₄ 등의 가연가스를 연소시키기 때문이다. 그림에서 알 수 있듯이, 약 0.4 g/g 이상의 산소/석탄비 범위에서는 산소/석탄비가 일정할 경우, 반응압력이 증가할수록 탄소전환율과 냉가스효율이 증가하는 것으로 측정되었다. 그러나 0.4 g/g 이하의 산소/석탄비 범위에서는 반대의 경향이 관측되었다. 최적 산소/석탄비(본 논문에서의 최적 산소/석

탄비는 최대 냉가스효율을 보이는 산소/석탄비를 의미)는 반응압력에 따라 약간씩 차이가 있지만 대략 0.5~0.7 g/g 정도로 측정되었다. 반응압력과 최적 산소/석탄비와의 상관관계는 뚜렷이 나타나지 않았다.

산소/석탄비=0.4 g/g 이상의 산소/석탄비 범위에서는 가스화기를 기압 조건에서 운전하는 것이 상압조건에서 운전하는 것보다 탄소전환율과 냉가스효율의 관점에서 더 유리함을 본 실험 결과로부터 알 수 있다.

Fig. 3은 여러 온도와 압력조건에서의 수증기/석탄비와 석탄가스화 특성과의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 수증기/석탄비와 석탄가스화 특성과의 관계는 반응압력보다는 반응온도에 더 영향을 받았다. 저온의 실험조건에서는 수증기/석탄비의 변화가 가스화 특성에 미치는 효과가 매우 미미하지만 고온의 실험조건에서는 그 효과가 명확히 관측되고 있다. 상용 가스화기의 경우 지나친 수증기/석탄비의 증가는 가스화기 반응온도의 저하를 초래한다. 반응온도의 저하는 탄소전환율과 냉가스효율의 감소를 초래하기 때문에, 수증기 투입의 목적이 냉가스효율의 증가라면 반응기 온도를 크게 저하시키지 않는 범위 내에서 수증기 투입량이 결정되어야 함을 알 수 있다.

반응온도가 충분히 높은 조건하에서(본 실험에서는 1200°C 이상), 수증기/석탄비가 증가하면 탄소전환율과 냉가스효율이 증가하였다. 그림으로는 표시하지 않았지만, 고온조건하에서 수증기/석탄비가 증가하면 CO, CO₂, H₂의 Yield가 모두 증가하는 것으로 측정되었기 때문이다. CO와 H₂ Yield가 증가한다는 것은 C+H₂O 반응이 활성화된다는 것을 의미한다. 이 반응은 상당한 흡열반응이기 때문에 주위의 온도가 충분히 높아야만 일어난다. CO₂의 증가는 C+H₂O 반응의 활성화 때문으로 추정된다. 즉 C+H₂O 반응에 의해 생성된 CO가 CO+H₂O 반응으로 CO₂로 전환되기 때문에 CO₂의 농도가 증

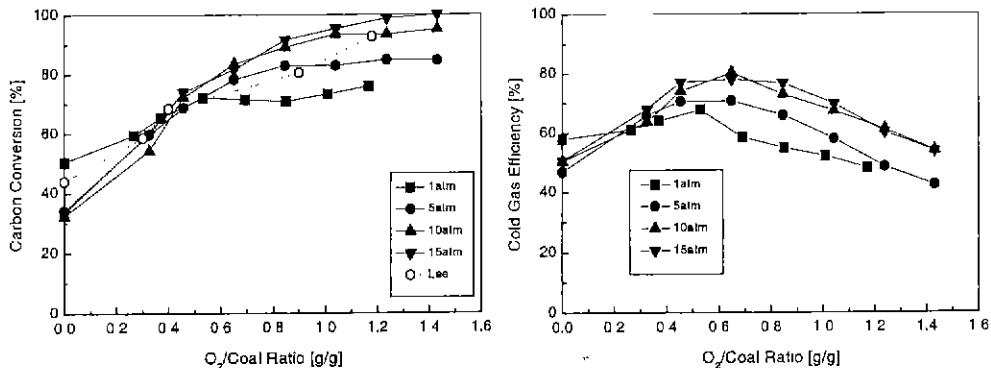


Fig. 2. Carbon conversion and cold gas efficiency vs O₂/coal ratio at various operating pressure (temperature=1400°C, H₂O/coal ratio=0 g/g).

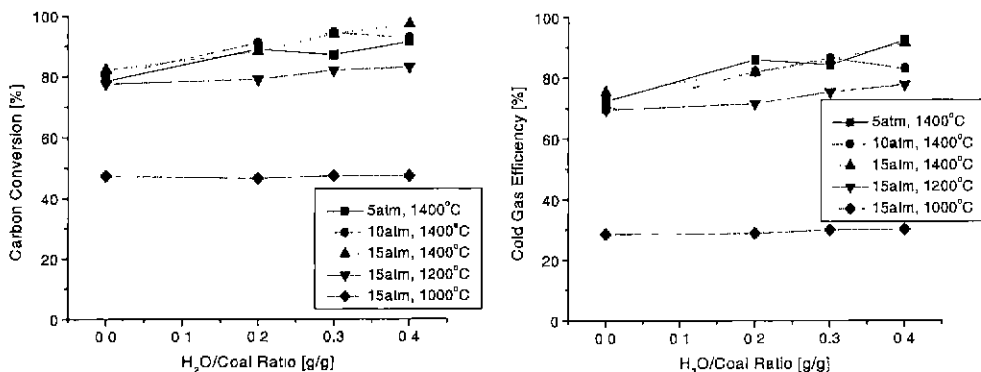


Fig. 3. Carbon conversion and cold gas efficiency vs H₂O/coal ratio at various operating pressure and temperature (O₂/coal ratio=0.7 g/g).

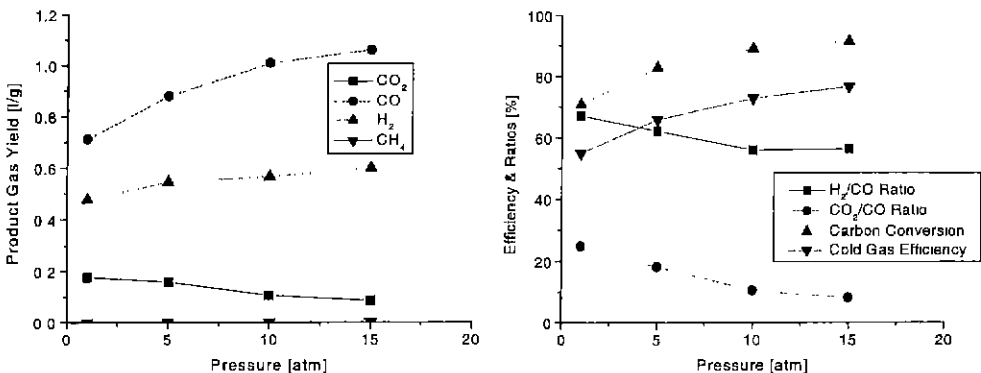


Fig. 4. Product gas yield and efficiency vs pressure (temperature=1400°C, O₂/coal ratio=0.85 g/g, H₂O/coal ratio=0 g/g).

가하는 것으로 추정된다.

Fig. 4는 온도, 산소/석탄비, 수증기/석탄비가 일정할 때, Product Gas Yield[l/g, STP]와 탄소전환율, 냉가스 효율 등을 반응압력의 함수로 보여주고 있다. 압력이 증가할수록 CO, H₂의 발생량은 증가하고 CO₂의 발생량은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과는 반응압력이 증가할수록 C+H₂O 반응과 C+CO₂ 반응의 반응도(reactivity)가 증가하는 것으로 이해할 수 있다. CH₄ 발생량은 다른 가스 Yield의 1/100 수준이지만, 반응압력이 증가할수록 발생량이 명확히 증가하여, 메탄 생성공정이 고압에서 이루어져야 함을 입증하였다. 생성가스 중 H₂/CO ratio와 CO₂/CO ratio는 압력이 증가할수록 감소하는 것으로 측정되었다.

석탄가스화 공정은 크게 열분해와 기고반응으로 나눌 수 있다. 초기의 빠른 열분해 과정에서 휘발분의 양과 조성, 잔류물의 양과 구조 등이 결정되고, 이후 느린 기고반응을 거치면서 잔류물의 가스화반응이 서서히 진행된다.

Fig. 5는 압력변화에 따른 열분해 생성가스의 조성변화를 보여주고 있다. 압력은 석탄의 열분해 과정에 커다란 영향을 미쳤다. 압력이 증가함에 따라 CO와 CO₂의 체적백분율은 감소하는 반면 H₂의 체적백분율은 증

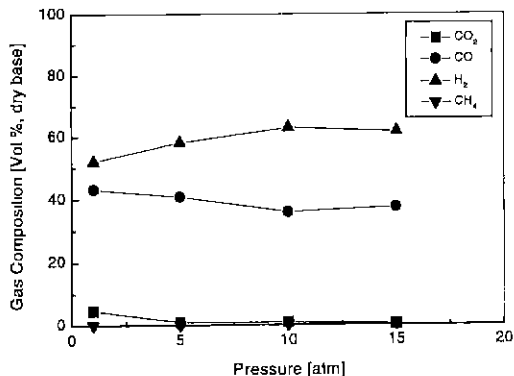


Fig. 5. Gas composition vs pressure (temperature=1400°C).

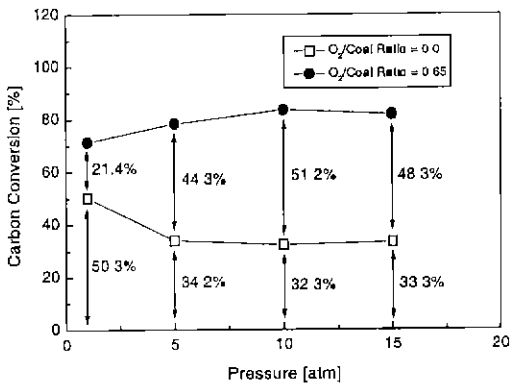


Fig. 6. Carbon conversion vs pressure (Temperature=1400°C).

가하고 있다 즉, 압력이 올라갈수록 분자량이 가벼운 가스의 체적백분율이 상대적으로 증가하였다. CO와 CO₂ 감소는 잔류물의 생성율을 높이기 때문에, 압력이 증가함에 따라 석탄의 총 휘발분이 적어진다는 것을 의미한다. 이러한 경향은 기존의 가압 열분해 실험결과와 정성적으로 잘 일치하고 있다⁹⁾.

압력이 증가함에 따라 잔류물의 생성율이 증가한다는 것은 압력이 증가할수록 기고반응에 의한 탄소전환의 비중이 점점 증가한다고 볼 수 있다. 이를 정량적으로 비교하기 위하여, 열분해(산소/석탄비=0.0 g/g) 조건과 산소/석탄비=0.65 g/g 조건에서의 압력 대 탄소전환 관계를 Fig. 6에 나타내었다. 열분해 조건에서는 탄소전환이 압력 증가에 따라 50.3%, 34.0%, 32.3%, 33.3%로 감소하는 반면, O₂/Coal ratio=0.65 g/g 조건에서는 압력증가에 따라 탄소전환이 71.4%, 78.3%, 83.5%, 81.7%로 증가하였다. 가스화 공정의 탄소전환이 열분해에 의한 탄소전환과 기고반응에 의한 탄소전환으로 이루어진다고 가정할 때, 각 압력에서의 기고반응에 의한 탄소전환율은 각각 21.4%, 44.3%, 51.2%, 48.3% 계산된다. 즉, 상압에서는 기고반응에 의한 탄소전환의 비중이 상대적으로 작았으나, 압력이 높아지면서 그 비중이 커지면서 특정 값에 수렴하는 것으로 관찰되었다.

본 연구에서는 PDTF를 이용하여 4개 실험변수를 변화시켜 가면서 일정한 체류시간이 경과한 후의 배가스 조성을 측정하였고, 이를 바탕으로 Product Gas Yield, 탄소전환율, 냉가스효율 등의 가스화 특성을 계산하였다. 본 실험의 결과로써, 다른 조건이 같다고 할 때 상압조건보다는 가압조건에서 가스화기를 운전하는 것이 탄소전환율, 냉가스효율 등의 측면에서 더 유리한 것으로 측정되었다. 최고의 냉가스효율을 얻기 위해서는 적정수준의 산소/석탄비가 필요하며, 반응기의 온도가 충분히 유지되는 범위에서만 수증기/석탄비의 증가가 냉가스효율

의 증가를 가져오는 것으로 측정되었다.

주지하는 바와 같이 석탄은 탄종과 반응조건에 따라 반응성이 상이하기 때문에, 가스화기의 올바른 엔지니어링 분석을 위해서는 가스화기 조건에서의 탄종별 반응특성에 대한 정확한 데이터가 필수적이다. 그러나 실제 분석에 즈음해서는, 가스화기에 적용될 연료와 관련이 없는 유사한 연료의 반응특성이나 혹은 가스화기 반응조건과 전혀 상이한 반응조건에서 구한 반응특성을 이용하고 있는 실정이다. 이러한 의미에서 본 PDTF 실험장치를 이용한 가압 가스화 실험은 실제 가압 가스화기와 매우 유사한 반응조건에서의 연료 반응특성을 제공하고 있다. 즉, 본 실험의 결과들은 가압 가스화 반응에 대한 이해의 폭을 넓혀준다는 학문적 측면 이외에도, 최고의 냉가스효율을 보이는 산소/석탄비, 주어진 운전조건에서의 탄소전환율, 냉가스효율, 생성가스의 조성 등과 같은 연료 반응특성 정보를 실험실 규모의 실험장치로써는 다른 장치에 비해 보다 더 신빙성 있게 제공하고 있다.

그러나 본 실험의 가압 가스화 실험결과를 해석함에 있어서는 본 실험장치와 실제 가스화기의 다음과 같은 기본적인 차이점을 염두에 두고 해석을 하여야 한다. 실제 가스화기의 경우 반응기의 가열은 석탄 일부의 연소에 의한 자체가열 형식인데 반해 본 장치에서는 전기가 열에 의한 외부가열 형태이다. 즉, 실제 가스화기에서는 산소/수증기/석탄비를 변화시키면 반응기의 온도도 같이 변화하고 그 변화폭도 매우 장치의존적인데 반해 본 장치에서는 산소/수증기/석탄비에 관계없이 반응기의 온도가 일정하게 유지된다. 또한, 가스화기 내부는 연료의 제트분사로 인한 난류유동인 반해 본 장치에서는 층류유동이다. 따라서 본 PDTF 장치에서 관측된 가스화 반응특성과 상용 가스화기에서의 반응특성과는 정량적인 면에서 어느 정도 차이를 보일 것이다

본 연구에서는 로토탄에 대해서만 실험이 진행되었지만, 향후 다양한 탄종에 대한 가압 가스화 실험이 계획되었다. 이러한 실험이 수행되어 탄종별 가압 가스화 특성에 대한 데이터 베이스가 구축되면, 석탄의 성상과 가스화 특성과의 상관관계, 특정 운전조건에 적합한 최적 탄종의 선정 등에 유용한 참고 자료가 될 것이다.

4. 결 론

가압조건에서의 분류종 가스화 특성을 연구하기 위하여, 최고압력 25 atm까지 운전가능한 PDTF 장치를 국내 최초로 제작하였고, 이 장치를 사용하여 로토탄의 가압 가스화 특성을 연구하였다.

가압조건에서, 산소/석탄비, 수증기/석탄비, 온도 등의 실험변수와 가스화 특성과의 상관관계는 상압조건에서

의 상관관계와 경향면에서 비슷함을 관측하였다. 약 0.4 g/g 이상의 산소/석탄비 범위에서는 산소/석탄비가 일정할 경우, 반응압력이 증가할수록 탄소전환율과 냉가스효율이 증가하였다. 최적 산소/석탄비(최대의 냉가스효율을 나타내는 산소/석탄비)는 본 실험의 압력조건에서 대략 0.5~0.7 g/g 정도의 범위에 분포하였고, 압력이 최적 산소/석탄비에 미치는 영향은 명확하게 나타나지 않았다. 수증기/석탄비와 석탄가스화 특성과의 관계는 반응압력보다는 반응온도에 더 큰 영향을 받았다. 온도가 충분히 높은 조건하에서 수증기/석탄비가 증가하면 CO, CO₂, H₂의 생성율이 모두 증가하였다. 동일한 산소/수증기/석탄비, 반응온도 조건에서 반응압력을 증가시키면 CO, H₂는 증가하고 CO₂는 감소하였다. 이러한 결과는 반응압력이 증가할수록 C+H₂O 반응과 C+CO₂ 반응의 반응도(reactivity)가 증가함을 의미한다. CH₄의 생성율은 매우 적은 양이지만 반응압력을 증가시키면 확실히 증가하였다. 가압조건에서 열분해 과정이 진행될 경우, 휘발분 성분 중 CO, CO₂의 생성율이 감소하고 잔류축의 생성율이 증가하였다. 상압조건에서는 열분해에 의한 탄소전환의 비중이 큰 반면 가압조건에서는 기고반응에 의한 탄소전환의 비중이 상대적으로 증가하였다.

참고문헌

1. Smoot, L.D., "Coal Gasification", Bisio, A., and Boots S.G., ed., "Encyclopedia of Energy Technology and the Environment", Wiley-Interscience, New York (1995).
2. Field, M.A., "Rate of combustion of size-graded fractions of char from a low-rank coal between 1200 K and 2000 K", C & F, 13, 237-252 (1969).
3. Badzioch, S. and Hawksley, G.W.: "Kinetics of thermal decomposition of pulverized coal particles", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 9(4), 521-530 (1970).
4. Nsakala, N.Y. and *et al.*: "Combustion and Gasification Characteristics of Chars From Four Commercially Significant Coal of Different Rank", EPRI-AP-2601-DE83-900574 (1982).
5. Abd El-Samed, A.K., Hampartsoumian, E., Farag, T.M. and Williams, A.: "Variation of char reactivity during simultaneous devolatilization and combustion of coals in a drop-tube reactor", Fuel, 69, 1029-1036 (1990).
6. Skinner, F.D.: "Mixing and Gasification on Pulverized Coal", Brigham Young University, Ph.D. Dissertation, (1988).
7. 이효진 등: "분류층 가스화기내에서의 석탄가스화 특성연구", 에너지공학회 4(3), 379-386 (1995).
8. Lee, J.G. and *et al.*: "Characteristics of entrained flow coal gasification in a drop tube reactor", Fuel, 75 (9), 1035-1042 (1996).
9. Fatemi-Badi, S.M.: "Pyrolysis of a subbituminous coal in a high-pressure entrained-flow reactor", The Pennsylvania State University, Ph D thesis (1989)
10. Hedman, P.O. and *et al.*: "Entrained flow gasification at elevated pressure", DE-AC21-85MC22059.
11. Ahn, D.H. and *et al.*: in Proceedings of the 13th Annual International Pittsburgh Coal Conference, edited by S.H. Chiang Pittsburgh, PA, 1996(unpublished), 953-958
12. Kajitani, S. and *et al.*: "A study on coal reactivity with a pressurized drop tube furnace" in Proceedings of the 13th Annual International Pittsburgh Coal Conference, edited by S. H. Chiang, Pittsburgh, PA, 1996(unpublished), 976-981.
13. Ouyang, S. and *et al.*: "A pressurized drop-tube furnace for coal reactivity studies", Review of Scientific Instruments, 69 (8), 3036-3041 (1998).
14. 오세기 등: "석탄가스화 복합발전 기술개발", 한전보고서 (1998).