

## PDTF를 이용한 인도네시아 Adaro탄의 석탄가스화 특성 실험 연구

고경호, 정재화, 안달홍  
한전 전력연구원

### A Study on gasification characteristics of Indonesia Adaro Subbituminous Coal

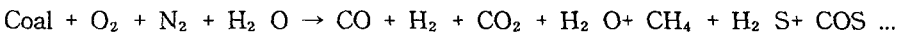
Kyung Ho Ko, Jae Hwa chung, Dal Hong Ahn  
Korea Electric Power Research Institute

#### 서론

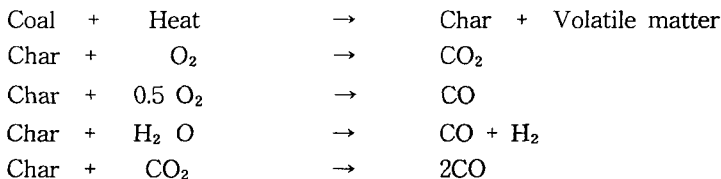
석탄가스화기는 IGCC의 핵심으로서 석탄을 고온에서 열분해 연소 및 가스화하여 연료가스인 저/중열량 가스(CO,H<sub>2</sub>)로 전환하는 장치이며, Texaco, Destec 및 Shell 등 분류층 가스화기가 발전용으로서 개발중에 있다. 전력연구원에서는 가압분류층 가스화기(Pressured Drop Tube Furnance)를 이용하여 석탄의 가스화 특성을 연구하고 있다. 석탄가스화 공정은 탄종과 운전조건에 따라 그 반응 특성의 편차가 매우 심하고 가스화 특성 실험시 탄종이 자국위주로 되어 있어 우리나라에 많이 수입되는 석탄에 대한 가스화특성에 대한 정보가 많지 않다. 따라서 본 연구는 상용가스화기의 운전조건을 모사한 분위기하에서 석탄가스화 특성을 결정하는 것이 목적이며, Adaro탄을 대상으로 15기압 가압하에서 반응온도 1400℃, 산소/석탄비 0~1.5, 석탄입자 45~63μm, 그리고 석탄 공급율은 6g/min으로 실험조건을 주어 산소/석탄비 변화시 탄소전환율 및 냉가스효율에 대한 석탄가스화 반응 특성을 평가하였다.

#### 이론

실험 대상탄은 알루미나 튜브 반응관을 따라서 층류 유동하에서 일차원적으로 아래와 같은 가스화 반응이 진행된다.



위와 같은 석탄의 가스화 반응 과정중에는 아래와 같은 세부반응이 진행되나 이들 세부반응에 관한 실험은 본 연구의 범위를 벗어나므로 가스화 반응에 관한 내용만을 언급하기로 한다.



탄소전환율(Carbon Conversion Efficiency)을 구하기 위하여 사용된 식은 아래와 같으며, 석탄의 원소 분석치에 나타나는 탄소량으로부터 공급된 총탄소량을 계산하고, 질소를 Tracer로 사용하여 생성물중에 나타난 탄소량을 계산하여 이들의 비(Ratio)로 탄소전환율을 구하였다.

$$\text{탄소전환율} = \frac{A}{B}$$

A : 질량분석기로 측정되는 CO 및 CO<sub>2</sub> 량  
 B : 석탄의 탄소로부터 발생 가능한 총 CO 및 CO<sub>2</sub> 량

냉가스효율(Cold Gas Efficiency)은 석탄의 열량이 석탄가스의 열량으로 변환된 정도를 나타내는 지수로서 석탄가스화기의 성능을 나타내는 중요한 지표이다. 본 실험의 해석에서 사용한 냉가스 효율 계산식은 아래와 같다.

$$\text{냉가스효율} = \frac{(D+E+F)}{G}$$

D : 생성된 CO의 발열량      E : 생성된 H<sub>2</sub>의 발열량  
 F : 생성된 CH<sub>4</sub>의 발열량    G : 투입된 석탄의 발열량

본 연구에서는 입자크기 효과를 배제하기 위해 45 ~ 63 $\mu$ m 입자크기 석탄을 사용하였고, 그 공업분석치, 원소분석치 및 발열량 등은 Table1에 정리하였다.

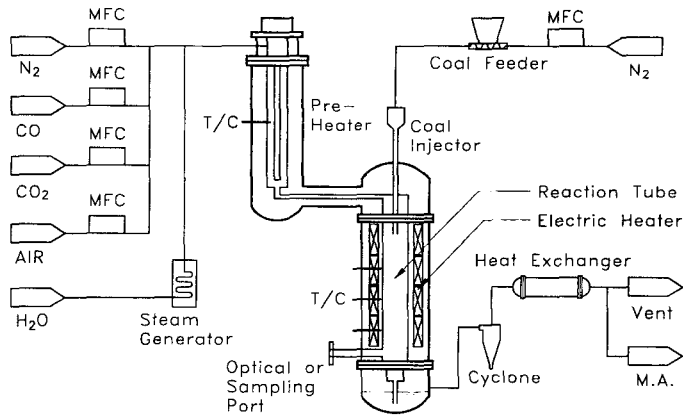
<Table 1. Properties of Coal for Experiment>

석 탄	공업분석				원소분석					발열량(cal/g)
	Mois	VM	FC	Ash	C	H	O	N	S	
Adaro	3.70	44.15	49.43	2.72	74.24	5.10	19.57	0.87	0.22	5113

### 실험 장치 및 방법

본 실험에서 사용한 가압분류층 가스화기(PDTF)를 그림 1에 개략도로 나타내었다. 상용 가스화기 운전조건에 접근하는 결과를 도출하기 위하여 최고 25기압, 1600℃에서 석탄의 가스화 실험을 할 수 있는 설비이다. PDTF는 Preheater와 Mainheater로 구성되어 있으며, Preheater는 반응기의 등온조건을 유지하기 위하여 반응가스를 예열하며, Mainheater는 가스화 반응이 일어나는 곳으로 내부는 알루미늄 반응관으로 되어 있으며, 반응관의 튜브 직경은 50mm, 길이는 80mm 이다. 상부에는 석탄공급기가 설치 되어 있고, 시료의 공급범위는 최고 10mg/min이며, 분위기 가스의 조성파 입자 체류시간의 조절이 가능하다.

본 실험에서 반응기의 압력은 15 기압으로 하였고, Preheater의 온도는 600℃로 고정하였으며 Mainheater의 온도는 1400℃, 석탄이송율은 6.0 g/min으로 하였다. 산소/석탄비를 0.0 ~ 1.5까지 변경하여 실험을 하였는데 산소/석탄비=0.0g/g의 조건을 추가한 것은 시험탄에 대한 가압하에서 열분해 데이터를 얻기 위한 것이다. 미분탄을 반응기로 이송하기 위한 1차 유동가스로는 질소를 사용하였고, 2차유동가스로는 질소와 산소를 같이 사용하였다. 즉, 질소는 모든 실험조건에서 유량을 온도에 따라 변경하였고, 산소유량 변화에 따라 총유량이 일정하도록 조절하였다. 생성가스의 측정은 가스질량분석기(Mass Spectrometer, Prima 600)로 On-line 측정하였으며, 정확한 데이터 취득을 위하여 실험전에 보정(Calibration)을 하였다.



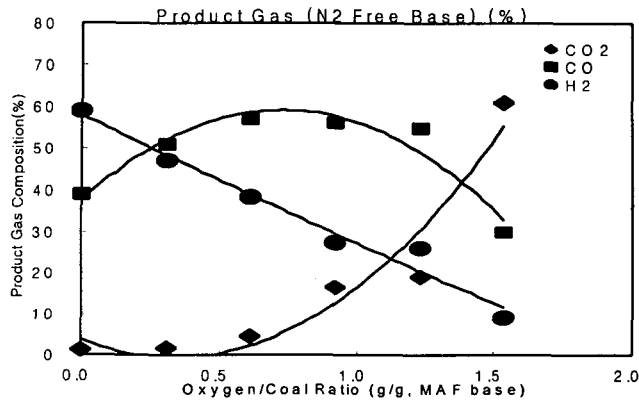
[Fig 1] Experimental setup

<Table 2 > Operating Parameters for Experiment

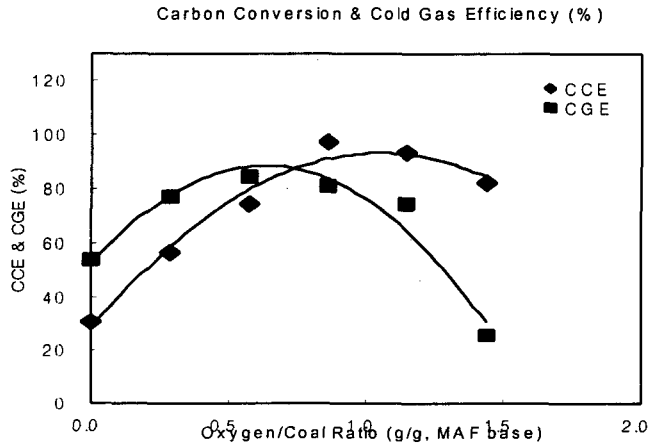
Operating Parameter	Coal Type	Variables	Performance Data
	Adaro	O <sub>2</sub> /Coal	
Reactor wall Temperature (°C)	1400	0.0~1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas composition</li> <li>• Carbon conversion</li> <li>• Coldgas efficiency</li> </ul>
Pressure (atm)	15		

### 결과 및 토론

석탄가스화 반응시 주요 생성가스의 농도를 N<sub>2</sub> Free Base로 환산하여 그림 2에 나타내었다. 산소/석탄비=0.0 에서의 값들은 Adaro탄에 대한 열분해 특성을 나타내고 있으며, 주요 생성가스들의 경향성을 보면, CO는 산소/석탄비=0.75까지 증가하다가 감소하였고 H<sub>2</sub>는 산소/석탄비가 증가할수록 직선적으로 감소하였으며, CO<sub>2</sub>는 산소/석탄비=0.5에서부터 2차 함수적으로 급격히 증가 하였다. 탄소전환율과 냉가스효율은 그림3에 나타내었다. 냉가스효율은 산소/석탄비=0.6에서 최고치를 보이며 그 이상에서는 감소하였다. Adaro탄의 최적 산소/석탄비가 약 0.6~0.7 근방임을 알 수 있다. 탄소전환율은 산소/석탄비=1.0 에서 최고점을 보였으며, 이상에서는 포화되는 경향을 보였다. 이것은 PDTF의 특성인 비교적 짧은 체류시간과 낮은 온도에 기인한 것으로 판단된다. 이를 보완하여 탄소전환율을 더욱 높이기 위해서는 (1)더 높은 반응온도가 필요하고(1500°C 이상), (2)더 긴 체류시간이 필요하며, (3)입자크기가 좀 더 작은 석탄을 사용하는 것이 필요하다. 이렇게 한다면 낮은 산소/석탄비에서도 충분한 탄소전환이 이루어질 것으로 판단된다. 또한 수증기를 주입 하므로써 동일한 반응조건에서도 탄소전환율을 더욱 향상시킬 수 있다. 본 실험연구의 의의는 이러한 소규모 PDTF Reactor 실험을 통하여서도 Full Scale 가스화기에서 일어나는 석탄가스화반응특성을 실험적으로 잘 모사할 수 있다는 것이다.



[Fig 2. Adaro 생성가스 농도(N<sub>2</sub> free base)]



[Fig 3. Adaro 탄소전환율 및 냉가스효율]

**참고문헌**

1. 안달홍 외 4인, 1996, "가압 분류층 석탄가스화 반응기 설계제작 및 운전특성실험"
2. 안달홍 외 5인, 1996, "가압 분류층 반응기를 이용한 석탄가스화 실험연구", 추계화학공학회
3. K.L.Smith, L.D.Smoot, T.H.Fletcher, R.J.Pugmire, 1994, The Structure and Reaction Process of Coal, Plenum Press.
4. L.D.Smoot, 1993, "Fundamentals of coal combustion for clean and efficient use", ELSEVIER.
5. C.R.Monson, L.D.Smoot, 1995, "Char Oxidation at Elevated Pressure", Combustion and Flame 100:669-683.
6. N.M.Laurendeau, 1978, "Heterogeneous Kinetics of Coal Char Gasification and

- Combustion", Prog. Energy Combustion. Sci.Vol. 4, pp221-270.
7. F.D.Skinner, 1988, "Mixing and Gasification on Pulverized Coal",Ph.D Dessertation.
  8. FUNDAMENTALS OF COAL COMBUSTION for clean and efficient use, L. Douglas Smoot, ELSEVIER, 1993
  9. Encyclopedia of ENERGY TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT