

가압 분류층 석탄가스화반응기 설계제작 및 운전특성실험

안달홍, 박호영, 신용승, 김종진, 김 종영
전력연구원

Design and Characterization Experiment of Pressurized Drop Tube Furnace for Coal Gasification Studies for IGCC

Dal-Hong Ahn, Ho-Young Park, Yong-Seung Shin, Jong-Jin Kim, Chong-Young Kim
Korea Electric Power Research Institute

서론

석탄가스화복합발전시스템의 핵심부분인 석탄가스화기는 기술에 따라 고정층, 유동층 및 분류층 등 다양한 기술이 개발중에 있으나 이들 기술중 분류층 석탄가스화기술이 대용량화가 용이하고 부하추종성이 우수하여 발전용으로 개발되고 있다. 분류층가스화기는 연료석탄을 미분탄의 형태 또는 석탄슬러리 형태로 가스화기내에 산화제와 함께 병류 반송시켜 석탄회분의 용융온도 이상의 온도에서 가스화반응을 일으키는 것으로 대표적인 공정으로 석탄슬러리를 공급하는 Texaco형 및 Destec형과 미분탄을 공급하는 Koppers-Tozek기술을 근간으로 하는 Shell 및 PRENFLO형이 있다. 원료석탄을 200 mesh 이하의 미세분말로 처리하여 수증기 산소와 함께 반응기에 공급하면 반응기 내에서 석탄과 기체의 혼합상태에서 반응이 일어난다. 반응기내의 온도가 매우 높아 가스화반응속도가 빠르며 복합발전에 이용될 경우 부하변동에 민감하게 대처할 수 있다는 장점이 있다. 분류층 석탄가스화기의 특징은 반응기내에서 석탄입자의 체류시간이 0.4~12 초로 짧고 석탄입자의 크기는 10~150 μ m, 운전압력은 약 25 기압, 운전온도는 대략 1,300 ~ 1500 °C의 범위에서 운전되며 따라서 회가 슬래깅 상태로 처리된다. [1,2]

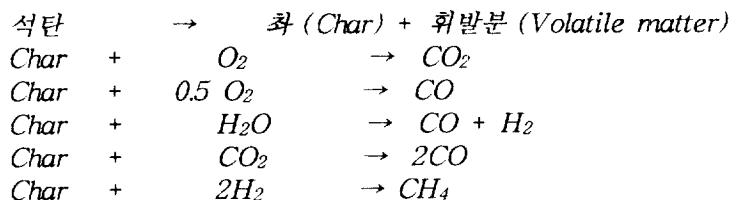
가압분류층반응장치(Pressurized Drop Tube Furnace)는 이러한 고온고압의 가스화기내에서 일어나는 분류층 석탄가스화반응 (Entrained Flow Coal Gasification)을 실험적으로 모사할 수 있는 장치이다. 선진외국에서 본 장치를 이용하여 연구를 수행중에 있는 기관으로는 미국 Brigham Young 대학과 North Dakota 대학의 에너지환경연구센터(EERC)가 지난 '90년 부터 미국 정부 DOE, EPRI, Texaco Inc, Shell Development Company, Dow Chemical Company등의 자금지원을 받아 PDTF에서의 석탄의 반응성실험연구[3]와 석탄회의 거동에 대한 연구를 수행중에 있다. 일본 전력중앙연구소(CRIEPI)와 호주 CSIRO는 '95년 말부터 PDTF를 이용한 실험연구를 수행할 계획으로 있다. 국내에서는 석탄가스화용으로 제작된 고온고압의 PDTF는 없었으며 미분탄 연소용으로 제작된 상압의 Drop Tube Furnace를 이용하여 연소실험을 수행한 바 있다. PDTF 실험연구는 본 연구가 국내 최초이며 본 논고에서는 Pressurised Drop Tube Furnace를 설계제작하고 운전특성실험을 수행한 결과에 대하여 논하고자 한다.

실험장치구성

석탄의 반응성에 관한 실험연구는 다양한 장치에서 수행되고 있다. Drop tube furnace는 물론 Flat flame burner, TGA, Heated grid, Shock tube 등에서도 석탄 Char의 반응성 실험을 수행하고 있다. 그러나 이들 장치는 고온 고압 하에서 운용되는 석탄가스화기를 적절히 모사하기 어렵다. Flat flame burner는 미분탄 연소시의 조건을 가깝게 모사할 수 있으나 수증기가 다량으로 포함된 연소생성물에 의해 분위기 가스조성을 정확히 조절하기 어렵고 반응가스의 등온분포를 얻기 어렵다. TGA는 열분해 실험시 가압하에서 가동될 수 있으나 가열율이 낮아 석탄가스화기와 같은 고온 반응실험에 적당하지 않다. Shock tube는 가압하에서 작동하나 반응시간이 짧고 입자온도가 일정하지 않으며 반응과정중 다양한 단계에서 입자를 샘플링 할 수 없다.

본 연구에서 설계제작한 가압분류층반응기(Pressurized Drop Tube Furnace)는 고온 고압 하에서 운전되는 분류층 석탄가스화기를 가장 적절히 모사할 수 있는 실험장치로서 국내 수입석탄의 석탄가스화 반응메카니즘 (Reaction Mechanism) 과 반응속도(Kinetics)에 대한 실험 데이터를 획득할 목적으로 제작하였다. [1] 본 장치는 고온 고압 (25 기압, 1,600°C)의 석탄가스화기에서 일어나는 온도 압력 체류시간 분위기 가스조성 등을 정확하게 모사할 수 있고, 반응시 입자온도를 확인할 수 있으며 각 단계에서 반응입자에 대한 샘플링과 반응기내 입자의 온도 속도 및 크기측정을 비교적 쉽게 수행할 수 있다.

Fig. 1 에서 본 장치의 개략도를 볼 수 있다. 본 장치의 구성은 가스공급부, 가스예열기, Steam generator, Main reactor, Coal feeder 배가스처리부, 냉각수 순환장치 등으로 구성되어 있다. 가스공급부로부터 필요한 반응가스가 공급되고 coal feeder로 부터 200 mesh의 석탄입자가 압력 0 ~ 25 kg/cm² 범위의 가압상태에서 온도 600 ~ 1600°C 범위에서 운용되는 고온 고압 반응기의 상부로 공급되어 반응이 일어나고 이때 발생된 가스 및 반응된 입자를 반응관의 하부에서 수집하여 배가스처리부에서 분석한다. 본 장치의 특징은 가스화반응시에 일어나는 아래와 같은 개별적인 소반응에 대한 분석을 할 수 있으며 또한 매크로한 1차원 석탄가스화반응을 분석할 수 있다는 것이다. 주반응기에서는 석탄 연소 및 가스화 반응이 정밀하게 조절된 공정변수 (온도, 압력, 분위기가스의 조성, 체류시간) 하에서 아래에 제시한 세부적인 반응이 일어날 수 있으며 이를 정량적으로 측정할 수 있다. [4,5,6,7]



이를 위하여 본 장치에서는 가스공급부에 주반응기에서 석탄 가스화 및 연소반응이 일어날 수 있도록 실험에 필요한 반응가스인 O₂, CO₂, H₂O, 및 H₂ 가스를 개별적으로 정량 공급할 수 있는 조절밸브를 설치하였고 연료수송을 위한 N₂의 공급 그리고 공기 공급설비로 구성하였다. 공기를 제외한 모든 가스의 공급은 봄베(Bombe)를 이용하며 산소 질소 등의 공급이 충분하고 가압하의 반응성실험을 위하여 25Atg를 유지할 수 있도록 하였다.

결과 및 토론

고온 고압의 분류층가스화기를 모사할 수 있는 PDTF장치의 국내 제작은 본 장치가 최초이므로 설계 제작 운전실험 과정에 시행착오가 있었다. 장치제작 설치 후 최초로 시스템에 대한 압력시험을 수행하여 Leak point에 대한 재 설계 및 제작을 하였다. 또한 후렌지의 Gasket, Sealing 방법 및 Material을 교체하므로써 설계압력인 25기압을 유지할 수 있었고 압력변경시험에서도 원활한 성능을 보여 주었다. Drop Tube Reactor 실험으로부터 정확한 Kinetic parameter를 얻으려면 본 실험 수행전에 장치의 정확한 운전특성 Data를 획득하는 것이 무엇보다도 중요하다. 장치에 대한 온도시험은 먼저 상압하에서 수행하였다. Pre-heater와 Main Reactor로 분리하여 각부분에 대한 온도시험을 수행하였으며, Pre-heater는 1300℃까지 승온시험을 하였고 승온스케줄은 50℃/Hr 였다. 1300℃까지 승온시 약 24시간이 소요되었다. 내부온도 1300℃의 조건에서도 Pre-heater의 외피온도가 50℃ 이하로 유지되어 단열이 효과적으로 잘되고 있음을 보여주었다. Main reactor의 온도는 상압에서 1600℃까지 승온하였으며 25기압의 가압상태에서 1500℃ 까지 승온하였다. Fig.3은 Reaction Tube온도와 반응가스온도를 비교하기 위한 실험을 수행한 결과를 나타낸다. 반응관내부의 온도를 측정하기 위하여 Suction pyrometer를 제작하여 Reactor상부의 Injection probe를 장착하는 Port를 통하여 상하로 이동하면서 반응가스의 온도를 측정하였다. 그 결과 Reaction tube 온도와 내부의 반응가스 온도사이에는 약 20~30℃의 온도차이가 있음이 발견되었고 가압시와 유량이 많은 경우에 온도차가 더욱 심하였다. 현재까지 장치의 설계제작 및 운전특성실험을 완료하였고 계속하여 국내 수입 역청탄에 대한 석탄가스화 Kinetic parameter 시험을 수행중에 있다.

참고문헌

1. 안달홍 김종진 김종영 “ 국내 수입석탄의 가스화 및 석탄가스화복합발전 연료적합성에 관한 연구”Energy Engg.J(1995),Vol.4,No.2 pp.222~231 (1995)
2. 지평삼 박 태준외, “복합 발전용 석탄 가스화 장치 및 정제시스템 연구”, KEPCO보고서 KRC 90G-J07, (1993)
3. Charles R Monson L Douglas Smoot, Char Oxidation at Elevated Pressure, Combustion and Flame 100: 669-683 (1995)
4. Normand M. Laurendeau, “Heterogeneous Kinetics of Coal Char Gasification and Combustion”Prog. Energy Combust.Sci. Vol 4, pp.221~270 (1978)
5. Abi Ei-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(8), 1029-1036(1990)
6. Shen, M-. S., Lui, A. P., Shadle, L. J., Zhang, G-. Q. and Morris, G. J. “Kinetics studies of rapid oil shale pyrolysis: 2. Rapid pyrolysis of oil shales in a laminar-flow entrained reactor”, Fuel, 70(11), 1277-1284(1991)
7. Kobayashi, H. Howard, J. B. and Sarofim, A. F., “Coal devolatilization at high temperatures”, 16th Symposium on combustion, The combustion institute, 411-425(1976)

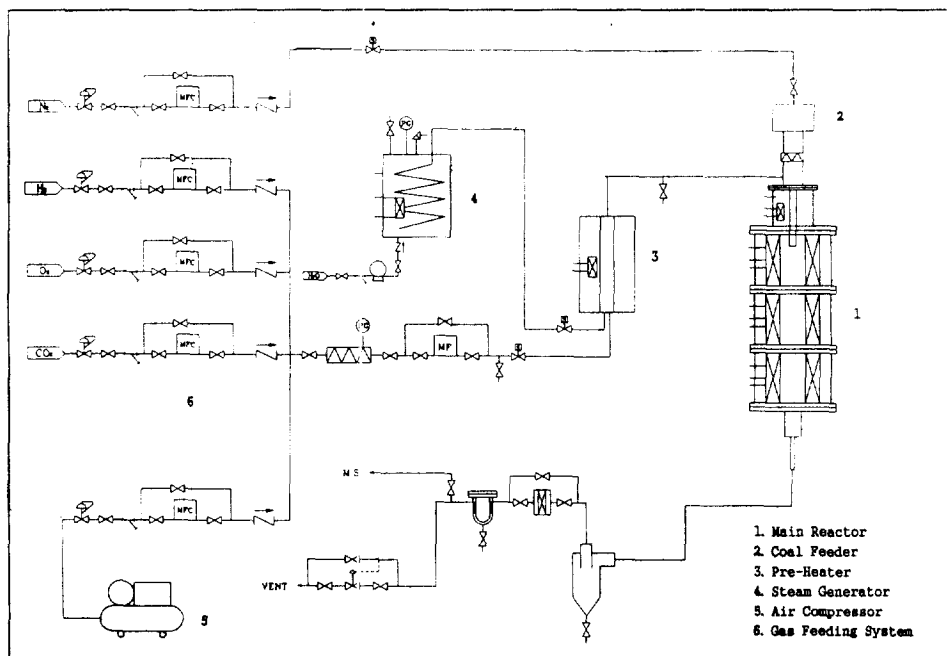


Fig. 1. Process Flow Diagram of Pressurized Drop Tube Furnace



Fig. 2. Overview of Pressurized Drop Tube Furnace System

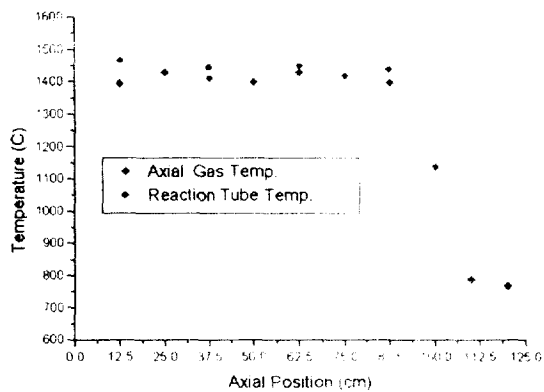


Fig. 3 PDTF Reactor Temperature Characterization