

분류층 가스화기내에서의 석탄가스화 특성 연구

이효진 · 김재호 · 이재구 · 박태준 · 김종진*

한국에너지기술연구소, *한국전력연구원

Coal Gasification Characteristics in An Entrained Flow Gasifier

Hyo Jin Lee, Jae Ho Kim, Jae Goo Lee, Tae Jun Park and Jong Jin Kim*

Korea Institute of Energy Research

*Korea Electric Power Research Institute

요 약

0.5 T/D 용량의 슬러리를 이용한 분류층가스화기에서의 인도네시아 탄인 Roto탄을 이용한 가스화 실험을 통하여 개발된 가스화기의 성능과 석탄가스화 특성을 파악하였다. 200 mesh 이하로 분쇄된 미분탄을 62.5%(H₂O/coal=0.6)로 물과 혼합된 슬러리를 0.5%의 유동화제와 회재의 20%의 CaO를 회재의 융점강하를 위하여 첨가시켰다. 회재의 융점이 1511°C에서 1300°C까지 떨어진 것이 관측되었다. 생성된 슬래그는 Quenching 부위에서 물에 의한 급랭으로 인한 열 충격으로 1~2 cm의 크기로 분쇄되었다. 실험결과 생성된 가스는 CO는 O₂/coal의 비가 증가할수록 감소하였고, H₂ 및 CO₂는 증가하는 것으로 관찰되었다. 생성된 가스의 발열량은 천연가스의(10,000 Kcal/Nm³)약 1/8인 1700~1300 Kcal/Nm³로 측정되었다.

Abstract—It has characterized the entrained flow gasifier developed by KIER, which has the capacity of a 0.5 T/D coal feed rate (based on dry coal) with coal slurry. For the study, Roto coal from Indonesia is selected. Coal is grinded up to 80% below 200 mesh and mixed with water at the weight percent of 62.5% (H₂O/coal=0.6). CWM1002 as a surfactant is added by 0.5% and CaO for the reduction of ash fusion temperature is added by 20% of ash weight. The ash fusion temperature is dropped to 1300°C from 1511°C. Slag formed as a result of coal gasification is rapidly cooled down in quenching water and crushed by sudden thermal expansion in the size of 1~2 cm. According to our experiment, the formation of CO has been reduced as the ratio of O₂/coal increased. On the other hand, the gas production of H₂ and CO₂ is observed to enhance. The heat capacity for the produced gas is ranged in 1300~1700 Kcal/Nm³, 1/8 of the heat capacity of natural gas (10,000 Kcal/Nm³).

1. 서 론

현재 세계는 환경보존과 경제발전의 양면성에서 효과적으로 대처하기 위한 방안을 모색하고 있으며, 경제발전을 극대화 유지시키면서 에너지문제를 아울러 해결할 수 있는 방안에 주력하고 있다. 화석연료를 이용한 재래식 발전설비의 대체수단으로서 IGCC가 효과적인 대응수단으로 제시되고 있다. 현재 IGCC는 효율 면에서 42%(재래식발전소 약 36%)에 이르고 있으며, 향후 2000년대에 들어서는 약 50% 이상의 효율증대를 목표로

로 연구에 박차를 가하고 있다. IGCC의 최대의 장점은 환경보존에 있으며, 특히 SO_x, NO_x, CO₂의 배출량은 석탄을 이용하고 있는 재래식발전소에 비하여 1/10 이상의 감소를 가져오기 때문에 이를 대신할 다른 대안이 없는 것으로 판단되고 있다.

IGCC의 경쟁은 선진 몇 개국에 의하여 주도적이고 독점적으로 추진되고 있으며, 특히 미국, 화란, 독일이 선두자리를 놓고 개발에 박차를 가하고 있다. 영국과 일본이 개발대열에 합류하기 위하여 엄청난 규모의 연구 개발비를 투자하고 있다. 다음은 세계 주요한 Full

Table 1. Full scale IGCC demonstration project.

Project Location	Capacity (MW)	Gasification Technology	Coal Type	Operating Period (Planned)
Cool Water, CA	100	Texaco	Bituminous	1984 - 1989
Plaquemine, LA	160	Destec	Subbituminous	1987 -
Buggenum, NL	250	Shell	Bituminous	1993 -
Wabash River, IN	265	Destec	Bituminous	1995 -
Polk County, FL	265	Texaco	Bituminous	1996 -
Hurth, Germany	300	HTW	Lignite	1996 -
Puertollano, Spain	340	Prenflo	Bituminous	1996

Scale의 IGCC Project를 나타내고 있다.

Table 1에서 보는 바와 같이 주요 선진국에서의 경쟁적인 IGCC 개발경쟁은 상업화 단계에까지 이르러, 자사 제품의 판촉을 위하여 세계각국을 돌며 전시회 및 설명회를 개최하고 있으며 국내에도 Texaco, Shell, Prenflo 등에서 설명회를 개최한 바 있다.

IGCC는 고도의 첨단기술의 집약에 의하여 이루어진 기술로서 투자에 의하여 당장 효과를 보기가 쉽지 않은 것으로 알려져 있으며, 우리 나라에서는 1990년대에 들어서 정부의 선도기술사업으로 추진을 하고 있으나, 국내의 고유모델로 IGCC시스템을 개발하는 것은 거의 불가능하리라 여겨진다. 단지 이러한 시스템의 Lab Scale 규모나마 운전해 해 봄으로써 경험을 얻고 향후 2000대에 도입될 것으로 여겨지고 있는 IGCC의 Type을 결정하여 계약을 체결하는데 국내의 실정에 맞는 적절한 형태의 시스템 도입에 기여할 수 있으리라 생각되며, 요소 기술개발에 효과를 얻을 수 있으리라 여겨진다. 이러한 과정을 추진하는데 있어서 무엇보다도 중요한 것은 우리가 직접 시스템을 선정할 수 있는 능력을 갖추어야 하며, 더불어 연료로 이용될 대상탄이 선정된 모델에의 적용성 여부를 결정할 수 있는 전문적 지식이 필요하다. 상기에서 언급된 바와 같이 각국의 IGCC 개발회사는 자국의 시스템이 가장 경제성이 뛰어나고 탄 종의 적용성이 뛰어나다고 고도의 Marketing 전략을 동원하여 항변을 하고 있으나, 이에 대한 최종 판단은 우리가 내려야 한다. 특히 IGCC는 수습역 불에 달하는 시스템으로 실정에 맞지 않는 시스템의 도입시에는 엄청난 국가적 손실을 입게 된다. 이에 대한 실질적인 예로써 1950년대 말에 건설된 나주 비료공장에 전남 화순 탄을 원료로 하여 석탄가스화에 의한 암모니아 제조 Plant를 설치하였으나, 탄종선정에 의한 공정선정의 잘못으로 실패하고 말았다.

이러한 시행착오의 가장 큰 원인은 이 분야에 대한 전문적인 지식을 가지고 있는 사람이나 기관이 없었고 장치의 도입시 국내현실의 적용성에 대한 사전 분석작업이 이루어지지 않았기 때문이다. 특히 IGCC의 분야에서

는 연구나 운전경험이 있는 전문인력은 전무한 상태이기 때문에 2000년대에 국내 도입시 외국업체의 로비에 좌우될 가능성이 높다. KIER에서는 0.5 T/D Lab Scale 규모의 가압식 분류층가스화실험을 1990년부터 수행하면서 지금까지 여러개의 탄종 및 오리엔탈에 대한 가스화실험이 국내 유일한 실전경험으로 기록되고 있다¹²⁾. 현재 국내의 가장 시급한 실정은 IGCC의 분야에 대한 전문가의 양성과 운전경험을 쌓는 것으로, KIER에서 수행하는 것과 같은 소규모의 실험장치로 다양한 종류의 실증실험을 경험할 수 있을 것으로 여겨진다.

그러나 비록 0.5 T/D규모의 소규모 가스화장치이지만 한번 운전을 하기 위해서는 상당한 준비시간과 또한 적지 않은 비용이 소모되는 것을 경험하였다. 또한 다양한 실험을 경험하기에는 시스템의 복잡성으로 인하여 상당히 많은 어려움이 있다. 즉 IGCC에 대한 보다 체계적이고 많은 운전경험을 쌓기 위해서는 조직적인 연구가 선행되어야 할 것으로 여겨지며, 소규모로써 비용과 인력이 절약될 수 있는 실질적이며 체계적인 연구의 수행이 절대적으로 필요하다.

본 연구에서는 국내에서는 최초로 실험한 가압식 분류층 가스화기내에서의 석탄가스화 실험중 인도네시아 산의 Roto탄에 대한 실험결과를 기술한 것이다. 연구기간 동안 수행된 실험결과는 생성가스의 농도분포, 슬래그의 형성이 주된 관심사이며, 이러한 실험을 통하여 석탄가스화 반응의 특성과 적합한 가스화반응의 영역을 제시하고, 반응물과 온도에 의한 가스화 특성을 파악하고 탄 종에 따른 석탄가스화 반응의 최적조건을 선정하는데 있으며, 이러한 실험을 체계화하는데 본 연구의 주목적이 있다.

2. 실험

2-1. 실험장치

Fig. 1의 가스화장치는 미분탄 기준으로 0.5 T/D의 처리용량을 갖고 있으며, 슬러리의 공급기준으로는 약 0.8~1 T/D(30~45 Kg/hr)의 처리능력을 갖추고 있다.

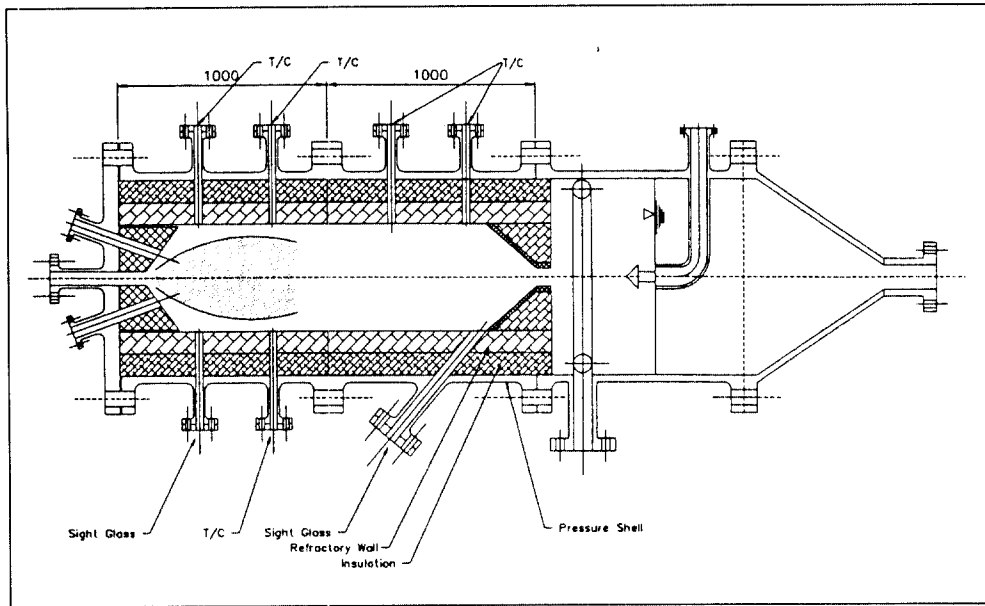


Fig. 1. Schematic drawing for 0.5 T/D pressurized entrained flow gasifier developed by KIER.

또한 가스화 장치는 가압식으로 20 기압에서 운전이 가능하도록 설계되어 있다. 연료의 공급방식은 모노펌프를 이용한 슬러리공급 방식이며, 99.9%의 산소를 이용한 가스화 장치이다.

가스화로의 구조를 살펴보면 상부의 중앙에는 석탄의 슬러리 및 산소를 공급하기 위한 주 버너가 설치되며, 우측에는 초기 예열을 위한 보조버너가 장착되도록 되어 있다. 내부벽은 가스화시 내부의 온도가 1300~1500°C에 이르기 때문에 안쪽에 고 밀도를 갖는 내화재가 설치되고 그 밖에는 단열재로 보온을 할 수 있도록 하였다. 상부에는 버너의 화염상태를 관찰할 수 있도록 CC-TV(Closed circuit TV)와 연결되어 VTR로 실험의 전 과정이 녹화할 있게 되어 있다. 하단 부에는 슬래그의 상태를 관찰할 수 있는 관찰구(Sight Glass)가 장치되어 있으며, 가스화 반응시 가스의 온도를 직접 읽기 위하여 화염이 형성되는 부위에 세라믹 보호막으로 감싸 있는 R-type의 열전대가 설치되어 있다. 또한 반응로 전체의 온도분포를 측정하기 위하여 내화재 내부에 K-type의 열전대가 3개씩 일렬로 4곳에 총 12개가 심어져 있다.

하단 부에는 형성된 석탄가스의 냉각 및 잔류물이 Scrubbing되도록 물이 분무되며, 형성된 슬래그가 급랭되어 분쇄되는 효과를 갖도록 하였다. 여기에 고인 냉각수는 자동 수위조절 장치에 의하여 외부로 배출된다. 여기서 배출된 가스는 가스 샘플링시스템을 거쳐 2차

Scrubber를 거쳐 대기로 배출되는데, 이때 Stack의 상부에 설치된 연소장치에서 자체 연소에 의하여 배출된다.

2-2. 실험방법

석탄은 발화성이 낮기 때문에 가스화를 위해서는 반응기내의 온도를 예열을 시켜야만 한다. 보통 미분탄 연소시 대략 800°C정도까지 예열을 실시하지만, 가스화를 위해 안정적인 부분산화가 이루어 질 수 있도록 1200°C까지 유지시킨다. 여기서 예열을 위한 연료는 LPG를 이용하며, 예열시에는 공기에 의한 연소를 실시한다. 반응기의 온도가 안정을 유지하면, 슬러리를 서서히 주입하면서 LPG의 양을 감소시킨다. 화염의 상태가 안정성을 보이면 슬래그와 산소의 양을 늘리면서 LPG와 공기를 감소시켜 간다. 이러한 조절기능은 Control room에 있는 폐쇄회로 TV를 보면서 화염 및 온도의 변화를 주시하여 자동조절밸브로 조절한다. 이때 화염의 온도 및 내부 벽의 온도 변화가 기록계 및 Data Acquisition이 장착된 컴퓨터에 전 과정이 기록된다.

슬러리를 제조하기 위해서는 200 mesh에서 80% 이상이 되도록 탄을 분쇄한 후 이를 Vibrator mill에 일정량의 물과 석탄을 혼합하여 주입하면 원하는 수분함유의 슬래그가 제조된다. 본 연구에 이용된 슬래그 농도는 62.5% (H₂O/Coal=0.6)이며, 유동화제인 CWM1002를 0.5%를 첨가하여 물과 혼합이 잘 이루어지도록 하였다. 또한 Roto 탄의 경우 회재의 용점이 1511°C로 상당히 높기 때문에

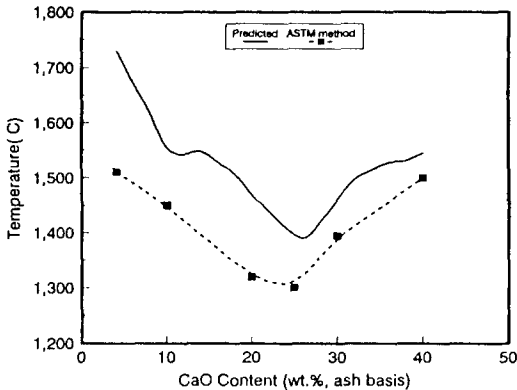


Fig. 2. CaO additive influence on melting temperature behavior for Roto coal.

융점강화를 위하여 20%(회재 무게기준)의 CaCO₃를 첨가시켰다. 여기서 설정된 CaCO₃의 양은 Fig. 2에 의하여 결정되었으며, 첨가제에 의하여 약 200°C 가량의 융점 강하가 발생하였다. 즉 회재는 크게 산성으로 작용하는 Al₂O₃, SiO₂와 염기성으로 작용하는 CaO, Fe₂O₃, MgO로 구성되어 산성성분이 증가하면 융점이 상승하고 염기성분이 증가하면 융점이 낮아진다³⁾. 따라서 첨가제 주입에 의한 회융점 강하 방법은 산도를 저하시키는 basic oxide의 함량을 증가시키는 방법이 주된 연구로 알려져 있다⁴⁾. 즉, 염기성 물질인 Fe₂O₃나 MgO 등을 첨가하여 온도를 강하시킬 수 있으나, 비교적 좁은 범위에서 낮은 온도 특성을 유지하는 반면 CaO에 의한 영향은 비교적 넓은 범위에 걸쳐 용융 온도를 낮출 수 있어, CaO의 투입 방법이 효과적인 것으로 알려져 있다⁴⁾.

슬러리를 주입하기 위해서는 확산형태의 노즐을 선정하여 설계되었다. 이는 내부의 높은 압력과 산소를 산화제로 이용하는 위험성을 고려하여 역화현상(flashback)을 방지할 수 있기 때문이다. 즉 슬러리의 액주를 음속에 가까운 고속의 산화제가 충돌하여 분사시키는 방법으로, 물을 이용한 Cold test를 통하여 노즐의 성능을 입증하였다. Fig. 3은 분무압력의 영향을 평가하기 위한 실험중 분무압이 3 Kg/cm²에서 유량이 8.06 g/sec에서 실험하는 장면을 보여주는 사진이다. 이 밖에도 분무압을 1~4 Kg/cm²에서 유량(4.18와 8.06 g/sec) 및 분사각(15°와 30°)에 대한 실험이 실시되었으며, 이에 대한 결과가 Fig. 4에 나타나있다. Malvern Particle Analyzer를 이용한 분무한 액적의 크기를 측정하는 것이다. 압력이 증가할수록 입자의 크기가 작아짐을 볼 수 있는데, 이는 2차 공기가 액주에 충돌할 때 압력이 높을수록 높은 운동에너지가 액적에 전달되어 쉽게 분산이 이루어지기 때문이다. 또한 유량이 적을수록 입자가 쉽게 분무되며,



Fig. 3. Photograph for high impinging jet spray nozzle ($\dot{m}=8.06$ g/sec, $P=3$ Kg/cm²).

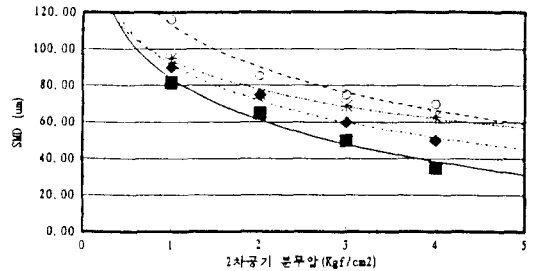


Fig. 4. Particle size measurement on the various secondary air pressures at 35 cm from the nozzle tip. ■; m=4.18 30 deg, ◆; m=4.18 15 deg, *; m=8.06 30 deg, ⊖; 8.06 15 deg.

충돌각이 클수록 분무가 잘되는 것을 알 수 있다.

2-3. 가스 샘플링 및 분석

가스분석 장치는 정밀측정의 개념보다는 시간에 따라 변화하는 가스화 운전조건과 안전상의 문제를 고려하여 설치되며, 일반적으로 석탄가스화 중 CO₂, CO, CH₄ 등은 NDIR(Non-dispersed Infra-red)방식에 의해 분석되며, 수소가스는 화학반응에 의해 분석하는 것이 주종을 이루고 있다. 본 실험을 위하여, CO 및 CO₂ 분석기를 생성가스의 배출구에 설치하여 반응기의 생성물을 즉각적으로 감지할 수 있게 하였다. 또한 CH₄ 분석기를 별도로 장착하였다. 또한 정확한 가스생성물의 분석을 위하여 GC(Gas Chromatograph)를 이용하여 분석하였다. 이를 위한 샘플링 시스템은 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 사용된 분석기는 HP 5890 series II로서 사용 column은 2-column시스템 및 switching valve system을 사용하였다. 이런 이유는 대부분의 혼합가스는 적당한 시간내에 1개의 column으로 모든 가스를 분석할 수 없으며, 시료가 column을 통과하는 동안에 분리

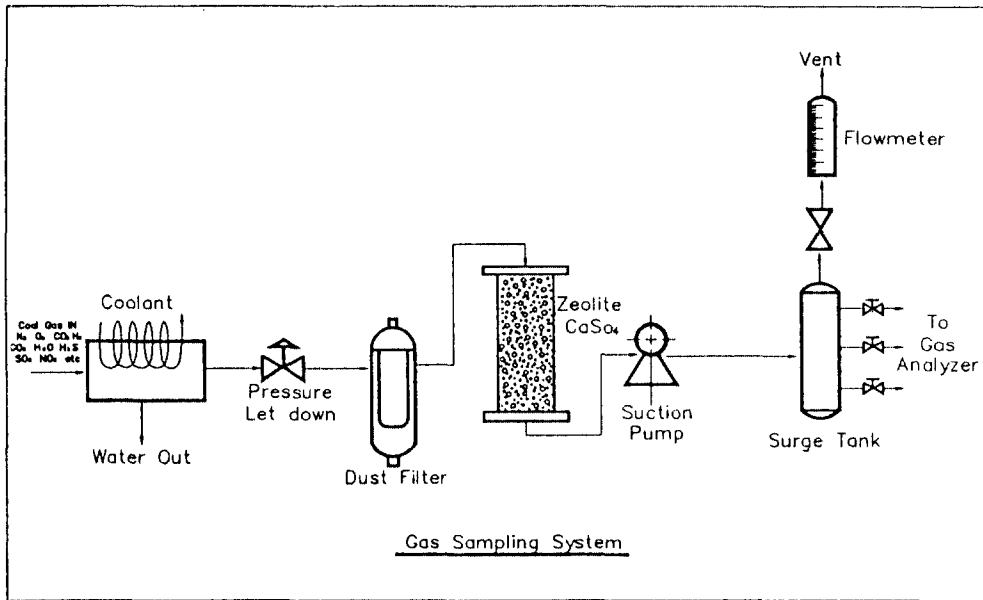


Fig. 5. Sampling system layout for gas analysis.

되어야 하는데, 분리가 이루어지면 tailing 현상이 발생되기 때문에 분석 시간도 오래 걸릴 뿐만 아니라, 분석 값의 정확도가 매우 낮게 되기 때문이다. 사용 column은 6ft Porapak-N과 2ft molecular sieve 13X가 사용되었으며, 수소성분의 원활한 분석을 위하여 아르곤(Ar)을 Carrier gas로 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2는 인도네시아 산의 Roto탄의 공업분석 (Proximate analysis)와 원소분석(Ultimate analysis) 및 회재의 용점 등을 나타낸 것이다. Roto탄은 준역청탄 (Subbituminous)계열로서 약 41%의 낮은 고정탄소를 갖고 있는 반면, 황 함유물이 0.27%로 매우 낮은 특징을 갖고 있다. 반면에 회재의 용점(T_f)이 1511°C로 비교적 높기 때문에 앞에서 언급한 바와 같이 CaO를 첨가하여 용점을 낮추는 작업이 아울러 요구된다. 그러나 회재가 전체의 1.69%로, 일반적인 경우 10~20%의 회분을 갖고 있는 다른 탄에 비하여 월등히 낮기 때문에 슬래그에 의한 반응기에 미치는 영향이 크지 않을 것을 고려하여 본 연구의 시료 탄으로 선정하였다.

본 연구를 위한 실험을 2회에 걸쳐 실시되었다. 실험은 위한 조건은 앞에서 언급된 바와 같으며, 반응기의 최고부위의 온도범위가 1400~1550°C를 유지하였으며, 석탄의 주입량은 20~30 kg/hr(dry coal base)이었으며, 반응기의 압력은 1~5 기압을 유지하였다. 산소와 슬러

Table 2. Analysis of Roto coal.

Proximate Analysis (%)		Ash Composition (%)	
Moisture	17.0	K ₂ O	0.87
Ash	1.4	Na ₂ O	0.24
VM	40.5	SiO ₂	32.58
FC	41.1	Al ₂ O ₃	27.49
HHV (Kcal/kg)	6,250	Fe ₂ O ₃	21.23
		CaO	4.11
		MgO	1.85
		SO ₂	2.30

Ultimate Analysis (%)		Ash Fusion	
C	66.0	Temperature (°C)	
H	5.7	Initial Deformation Temp	1,484
N	1.3	Softening Temp.	1,504
S	0.27	Hemispherical Temp.	1,508
O	24.0	Fluid Temp.	1,511

리를 반응기에 주입하기 이전에 50~70°C까지 예열을 하였다. Fig. 6은 가스화시 형성된 반응기의 화염을 보여주고 있다. 반응로에 화염이 형성되는 위치인 노즐에서 약 50 cm 하부에 놓여진 관측구를 통하여 촬영한 사진이다.

Fig. 7은 가스화 후에 반응로의 하부에 설치된 Quenching pot에서 급냉후 부서진 슬래그를 보여주고 있다. 위에서 언급한 바와 같이 Ash의 함유량이 많지 않아서 운전 후 형성된 반응로에 크게 침식되지 않은 것으로 관측되었다. 가장 우려했던 Quenching이 일어나는 하부의 저온 현상으로 슬래그가 고화되는 현상도 관

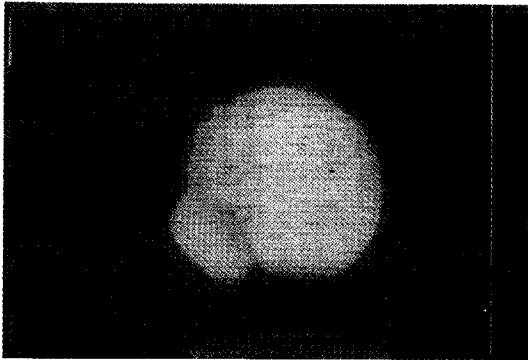


Fig. 6. Photograph of coal slurry flame at 1500°C.

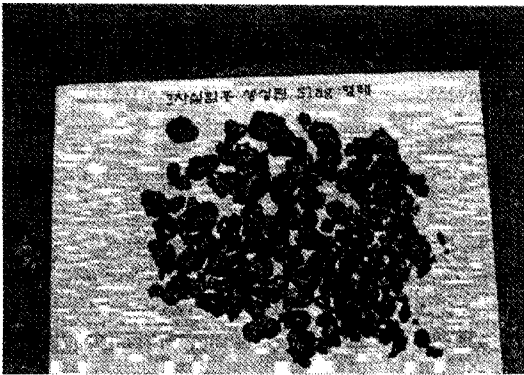


Fig. 7. Collected slag sample after gasification.

측되지 않았는데, 이는 출구의 온도가 1200°C 이상으로 유지되었고 공급유량이 낮았기 때문인 것으로 여겨진다. 수집된 슬래그는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 크기가 1~2 cm 가량으로 잘게 분쇄된 형태로 존재하고 있었는데, 이는 고온의 슬래그가 급랭되면서 발생하는 열충격에 의한 일반적인 현상이다.

분류층내에서 발생하는 석탄가스화 현상은 매우 복잡하여 단순한 논리로서 전체의 흐름을 이해하거나 결론을 내리기가 어렵다. 분류층에서의 가스화에 영향을 미치는 주요 인자를 살펴보면 슬래리의 조성, 분무시 입자의 크기, 산소 및 석탄의 비, 반응로의 열 손실, 반응시 압력 등 무수히 많이 존재한다. 특히 석탄은 탄종에 따른 성분이 천차만별이기 때문에, 실험결과에 대한 명쾌한 결론을 유도하기가 어렵다. 그래서 본 연구의 결과를 단순히 한 개의 탄종에 대한 주어진 수분의 함량을 (H₂O/Coal=0.6) 기준으로 산소와 석탄의 공급비로서 이해를 하고자 했다.

가스화를 위한 대표적인 반응식을 살펴보면 다음과 같다.

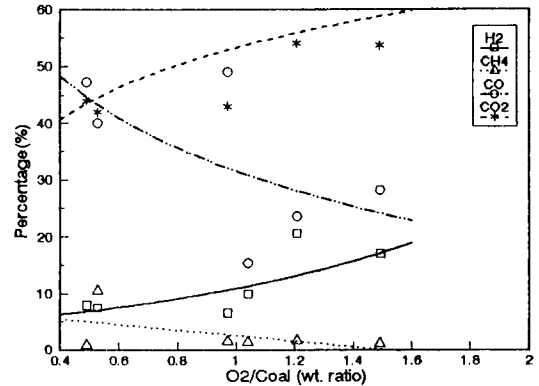


Fig. 8. Gas composition changes with respect to the ratio of O₂/coal in entrained flow gasifier.



열역학적으로 char-O₂의 반응에 의하여 형성된 CO₂가 다시 char-CO₂ 반응에 의하여 CO를 형성하고 char-H₂O 반응으로 CO와 H₂를 생성하게 되며, CO의 전환 반응이 식 (3)에 의하여 이루어진다.

Fig. 8은 실험에 의해 형성된 가스의 조성이다. 상기 식에서 char-CO₂반응이 char-H₂O 반응보다 우세하게 진행되므로, 초기에 산소가 부족한 상태에서는 식 (1)에 의하여 CO의 양이 상당히 지배적으로 존재하고 H₂의 양이 상대적으로 낮게 조성된다. 그러나 O₂/coal비가 상승함에 따라 식 (2)와 (3)의 관계에 의한 H₂의 양이 증가하고 반대로 CO의 양이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 H₂의 생성이 O₂/coal의 증가에 따라 상당히 증가하는 것이 나타나는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 char-H₂O 반응으로 식 (2)와 (3)의 총괄 반응으로 다음과 같이 진행된다.



식 (4)의 수성가스화반응은 철분의 촉매 존재 하에서 활발하게 일어나는 것으로 알려져 있다.^{5,6)} Roto탄은 철분이 Table 1에 나타난 바와 같이 회재내에 21%를 함유하고 있는데, 이는 다른 탄종(Alaska: 6.08%, Drayton: 4.26%, Datong: 7.41%)에 비하여 월등히 높은 상태로, 수성가스 반응의 H₂ 형성에 큰 영향을 미친것으로 여겨진다.

석탄가스화에 의하여 생성된 가스의 발열량은 천연가스(11000 Kcal/Nm³)에 비하여 1/4~1/10 수준에 이른다.

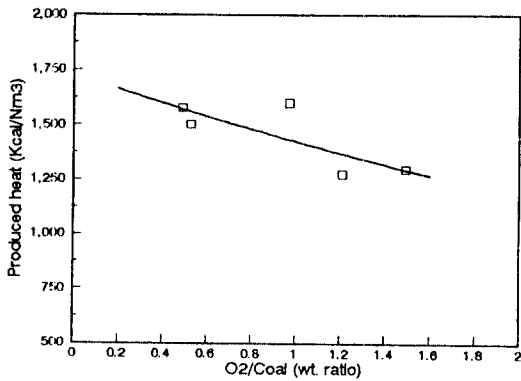


Fig. 9. Heat capacity produced from the entrained flow slurry gasifier.

즉 많게는 약 2500 Kcal/Nm³에서 적게는 약 900 Kcal/Nm³에 이른다. 여기서 1000 Kcal/Nm³ 이하의 경우에는 공기를 이용한 가스화의 경우 생성된 가스의 발열량이고⁷⁾, 대부분 1000 Kcal/Nm³ 이상의 발열량을 갖고 있다⁸⁾. 본 연구에서는 산소를 이용한 가스화의 실험 결과로 Fig. 9에서 보는 바와 같이 약 1700~1300 Kcal/Nm³ 발열량으로 관찰되었다.

4. 결 론

위의 연구결과는 그 동안 수행한 연구 결과의 일부로서 0.5 T/D 용량을 갖는 슬러리용 석탄가스화의 설계·제작 및 운전을 자체의 기술과 인력에 의하여 이루어진 데 큰 의의가 있다고 할 수 있으며, 본 연구결과 다음의 부분적인 결과를 얻었다.

1) 0.5 T/D(슬러리 기준: 0.8~1 T/D)용 분류층 석탄 가스화기에 대한 성능실험의 성공적인 운전 결과를 토대로 IGCC(Integrated gasification combined cycle)의 가압용 분류층 가스화기의 개발에 대한 좋은 경험을 제공하였다.

2) 미분 탄의 분쇄시 고른 크기의 분포가 노즐의 막힘을 방지하기 위하여 필수적으로 수반되어야 하며, 물과의 용화를 위하여 유동화제를 첨가해야 한다. 본 연구에서 CWM1002를 첨가제 약 0.5%가 첨가제로서 적절함을 파악하였다. 슬러리의 농도는 가스화의 반응에 영향을 고려하여 연료의 이송조건과 가스화 반응의 적정성을 고려하여 결정되어야 하는데, 여기서는 62.5%(H₂O/coal)의 슬러리농도를 설정하였으나, 이에 대한 심층적 연구가 요구된다.

3) 석탄가스화의 장점은 회재를 융점이상으로 가열하여 회분을 제거할 수 있는 공정으로, 본 연구에서 선정

된 Roto탄의 경우 융점온도가 1511°C로 가스화 온도보다 높기 때문에 융점강하를 위한 첨가제의 투입이 요구된다. 즉, 본 연구의 가스화로 온도 1400~1550°C를 유지하였기 때문에 첨가제로서 CaO를 회재의 20% 투입한 결과, 융점을 200°C 낮은 1300°C까지 강하시킬 수 있었다.

4) 생성된 고온의 슬래그는 반응기의 하부에 위치한 Quenching 부위에서 물에 의하여 급랭되도록 하였으며, 그 결과 갑작스런 열 충격에 의하여 크기가 1~2 cm로 분쇄된 상태로 수집되었다.

5) 생성된 가스의 조성은 본 연구의 O₂/coal의 실험범위(0.5~1.5)에서 CO는 O₂/coal비가 증가함에 따라 감소하였으며, 반면에 CO₂ 및 H₂는 증가하는 것이 관찰되었다. 이는 초기의 산소가 부족한 상태에서 char-CO₂ 반응이 char-H₂O 보다 우세하게 진행되기 때문에 CO의 양이 많이 생성되다가, 산소가 증가함에 따라 H₂ 및 CO₂가 증가하였다.

6) 생성가스의 발열량은 천연가스의 약 1/8수준인 1700~1300 Kcal/Nm³로서 이는 일반적인 석탄가스의 발열량에 준하는 수준이다.

참고문헌

1. 박태준 외 다수: "복합발전용 석탄가스화 장치 및 정제시스템 연구", 한전보고서, KRC-90G-J07, (1993).
2. 박태준 외 다수: "석탄가스화 운전특성 실험 및 오리털전 가스화 연구", 한전보고서, KRC-93G-J13, (1995).
3. Singer, J.G.: "Combustion fossil power systems", chapter 3, 16, 17, Combustion Engineering Inc. (1981).
4. Ashizawa, M., Inumaru, J., Takahashi, T., Hara, S., Kobayashi, Y., Hamamatsu, T., Ishikawa, H., Takekawa, T., Murakami, N., and Koyama, Y.: "Development of high-performance coal gasification technology for high ash fusion coals by flux addition method", CRIEPI report EW90003, (1990).
5. Revankar, V.V.S., Gokarn, A.V., and Doraiswamy, L.K.: "Studies in catalytic steam gasification of petroleum coke with special reference to the effect of particle size", Ind. Eng. Chem. Res., **26**, 1018 (1987)
6. Huffman, G.P., Huggins, F.E., Levasseur, A.A., Chow, O., Srinivasachar, S., and Metha, A.K.: "Investigation of the transformations of pyrite in a drop-tube furnace", Fuel, **68**(4), (1989)
7. Ninomiya, T., Nakata, T., Sato, M., Mandai, S., and

Sato, T.: "Development of a gas turbine combustor for coal gasification -part VI low NO_x combustion technology of a combustor using bypass air", CRIEPI report, EW90005, (1990).

8. Todd, D.M.: "Clean coal and heavy oil technologies for gas turbine", 38th GE turbine state-of-the-art technology seminar, GER-3650D, (1994).