

고정층 가스화장치를 이용한 무연탄 가스화 특성에 관한 연구

최영찬, 김재호, 이재구, 홍재창, 김용구, 이시훈
한국에너지기술연구원 청정에너지연구부

A study on the gasification characteristics of Anthracite in a fixed bed gasifier

Young-Chan Choi, Jae-Ho Kim, Jae-Goo Lee, Jae-Chang Hong, Yong-Gu Kim, See-Hoon Lee
Clean Energy Research Department, Korea Institute of Energy Research

1. 서론

주로 연탄으로 가공되어 민수용으로 사용되어 왔던 국내 유일의 부존연료인 무연탄의 사용량은 1986년에 2,530만톤 최대 사용량을 기점으로 감소하기 시작하여 1990년도부터는 급격히 저하하여 현재 300만톤 이하로 추정되고 있다. 이러한 원인은 80년대 저유가가 계속되고 LNG가 도입되면서, 사용시 연탄가스의 배출, 취급과 착화의 불편성, 낮은 열효율 및 공해물질 배출 등 많은 문제점을 갖고 있는 무연탄의 단순한 성형에 의한 연탄의 사용을 대신하여 국민들은 깨끗하고 편리한 가스와 석유를 가정용 연료로 선호하게 되었기 때문이다. 이로 인해 무연탄의 급격한 수요감소와 경쟁력 약화를 초래하여 국내 석탄 산업은 빈사직전의 어려운 처지에 놓이게 되었다. 따라서 이러한 국내 무연탄의 소비증가를 위한 방법은 연탄가스의 제거, 취급과 착화의 용이, 높은 열효율을 갖는 가공연료로의 전환을 통하여 국내 무연탄의 대량이용 기술의 개발이 매우 절실하게 필요한 실정이다. 이의 방안으로 공업로의 열원으로 석탄가스화의 최종산물인 합성가스를 제조하여 열원 공급을 위한 버너에서 연소시켜 이용하는 방안이 제시되고 있다. 특히, 많은 열원을 필요로하는 내화물 제조 공정에 석탄가스화 기술을 적용하기 위해서는 연소시 발생하는 석탄의 분진 등이 내화물 반응기에 유입되면 내화물 제품에 영향을 주게 되므로 분진 제거가 필수적이다. 그러나, 고온에서의 분진 제거는 매우 어려운 기술로서 기술 개발에 많은 시간이 요구되고 있는 바, 이 보다는 석탄을 가스화하여 청정연료로 만든 후 이것을 내화물 제조공정의 열원으로 사용하는 것이 손쉬운 방법이라 할 수 있다.^{[1][2]}

최근의 환경규제와 관련된 국제적인 압력 및 에너지 이용의 효율 측면을 고려할때 석탄을 이용하는 기술중에 가스화가 가장 우수하다고 평가되고 있을 뿐만아니라, 석탄가스화 기술이 현장에 적용된다면 새로운 의미의 대체에너지의 개발이라 할 수 있으며, 환경 공해를 유발시키는 SOx, NOx 및 분진을 가스화 반응시 제거할 수 있어 최종 내화물 제조공정에서는 공해 물질의 제거를 위한 배가스 처리 설비를 줄일 수 있을 뿐만아니라 내화물 제조공정의 열원으로 사용되고 있는 Bunker-C유를 석탄으로 대체하게되어 새로운 석탄의 수요가 창출될 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구는 저가의 무연탄을 내화물 제조 공정의 열원으로 사용하기 위한 기술 개발을 주 목적으로 하며, 이를 위해 당연구팀에서 10년 이상 개발하고 있는 석탄 가스화 기술을 바탕으로 소규모 건조회분 고정층 가스화장치를 설계 및 제작하여 중국탄, 베트남탄 및 기타 국내의 장성 및 경동탄광에서 배출되는 탄을 이용한 가스화 실험을 통해 합성가스를 제조하여 공업로와 같은 공정에서의 열원 공급 기술에 대한 타당성을 조사하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구를 위하여 설계, 제작된 소규모 고정층 가스화장치(Lab scale dry ash fixed bed gasifier)는 반응장치의 상부에 설치되어있는 슬라이드 게이트 밸브를 통하여 석탄을 공급하고 반응기 하부의 grate를 통하여 가스화제인 공기와 스팀을 공급하여 석탄의 가스화 반응이 이루어지도록 하는 건류 회분 고정층 가스화장치(Φ600x1,500)로서, 반응열에 의한 반응기의 보호와 반응스팀을 발생하기 위해 반응기의 외벽을 이중 자켓으로 구성되어 있다. Fig. 1은 본 연구를 위해 제작된 소규모 건류 회분 고정층 가스화장치를 나타낸 것이다.

가스화 반응기 내부에서 증기와 공기의 혼합물은 석탄의 용융온도 이하인 약 1,000℃ ~ 1,200℃의 반응온도 범위에서 부분산화 반응하여 CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂S, SO₂ 및 COS 등의 가스를 생성하게 된다. 반응기 벽면에 가스화기 내부 반응온도 측정 및 생성가스 배출구에 설치되어 배가스의 온도를 측정하기 위하여 k-type thermocouple이 설치되어 있다. 가스화로의 하단부는 스팀 및 공기를 공급하고 석탄층을 유지하기 위한 grate를 설치하였으며, grate는 inverter를 사용 회전수를 조절하여 회전하도록 하여 반응중에 생성된 회분을 연속적으로 배출하도록 하였다. 반응기의 보호와 반응스팀을 발생하기 위해 설치된 반응기 외벽 이중 자켓의 냉각수 수위 조절을 위하여 냉각수 수위조절용 탱크를 가스화장치 외부에 설치하여 연속적으로 냉각수를 공급할 수 있도록 하였다.

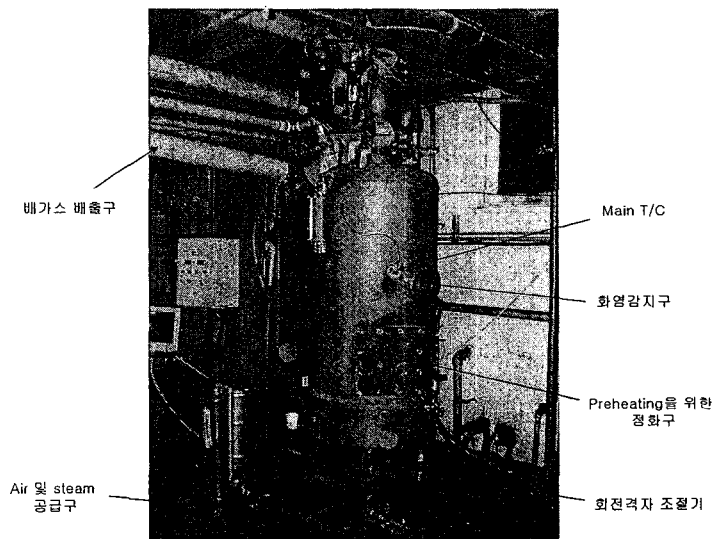


Fig. 1. Fixed bed gasifier in KIER

생성가스의 배출구에 gas sampling port를 설치하여 IR(Infra-red) 분석기가 매초마다 합성 가스의 조성을 자동 분석하며, 또한 on-line으로 G/C에 연결하여 가스조성을 매 30~40분 주기로 분석하도록 하였다. 생성된 합성가스의 조성은 컴퓨터와 연결되어 자동 기록장치에 입력되어 운전사항 및 결과를 분석하게 된다. 실험 초기에 반응기의 내부는 목탄 및 코크스를 충전하여 LPG 및 공기를 이용하여 점화한 후 가스화장치 내부의 온도가 적정온도로 유지되면 석탄과 스팀/공기혼합물을 공급하여 가스화반응이 진행되도록 하였다.

3. 실험결과 및 토의

3-1. 실험시료의 성분분석

고정층 가스화장치를 이용하여 가스화 실험에 사용된 주요 실험시료의 성분분석은 Table 1과 같다. Table 1에 나타난 실험시료 중 중국탄 및 베트남탄은 국내 수입업체에 의해 수입되어 본 가스화 실험에 사용된 탄의 분석치이다. 베트남탄의 경우 고정탄소분이 83%로서 가장 높으며, 반면 휘발 성분은 가장 낮게 분석되었다. 베트남탄을 제외한 세 개의 탄은 모두 회분성분이 10%이상이며, 특히 경동탄은 18%로 가장 높게 나타났다. 발열량의 경우 베트남탄이 7,500kcal/kg으로 가장 높으며, 경동탄은 회분함량이 높아 6,250kcal/kg으로 가장 낮게 분석되었다. 이와같이 무연탄의 경우는 회분함량이 높고 반응성이 매우 낮기 때문에 3~4초의 짧은 체류시간을 갖는 분류층 가스화장치에서의 가스화는 부적합하며 적절한 스팀을 공급하며 충분한 체류시간을 갖도록하여 미반응탄소를 최소화할 수 있는 고정층 가스화장치가 효율적이라 할 수 있다. 아울러, 70% 이상의 고정탄소를 함유하고 있는 무연탄의 경우 반응성이 매우 낮기 때문에 가스화 반응온도를 유지하여 가스화 반응효율을 증가시키기 위하여 충분한 air 및 스팀을 공급해야 할 것으로 판단된다.

Table 1. Analysis of sample coals

항목 시료명	공업분석(wt%)				원소분석(%)					발열량 (Kcal/kg)
	수분	휘발분	회분	고정탄소	탄소	수소	질소	유황	산소	
베트남	1.27	6.71	6.13	83.04	90.11	1.67	0.61	0.96	0.09	7,530
중국	0.81	7.18	12.44	79.57	88.80	3.19	0.58	0.52	1.10	7,280
장성	4.22	6.47	11.83	77.48	85.80	1.24	0.28	0.21	0.64	6,670
경동	5.03	6.71	17.62	70.64	79.75	1.27	0.33	0.94	0.09	6,250

3-2. 실험결과

반응성이 낮은 무연탄의 경우 충분한 air 및 스팀의 공급이 필수적이며, 이를 위해 반응기 내부의 grate에 air 및 스팀의 공급을 위해 설치된 14개의 구멍을 통한 air 공급유량이 최대 $100\text{Nm}^3/\text{hr}$ 가 되도록 하였으며, air 압력의 변동에 따라 스팀 공급을 원활하게 제어할 수 할 수 있도록 하였다. 가스화 시료로 사용된 중국탄의 투입량은 80kg , air의 공급유량은 $70\text{Nm}^3/\text{hr}$ 로 유지하면서 스팀유량을 변화시키며 가스화실험을 수행하였다. 실험결과는 Fig. 2 및 Table 2에 나타낸 바와 같다. Fig. 2의 중국탄 가스화 실험의 I/R 분석기에 의한 가스 조성 분석에서 볼 수 있는 바와 같이 합성가스의 조성은 약 20~40%로 유지되었으며, 발열량은 $800\sim 1,300\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 의 결과를 얻을 수 있었다. 그림의 후단부에서 보여주는 조성 및 발열량의 peak는 air/스팀의 비에 대한 가스조성의 변화를 측정하기 위해 air 및 스팀의 유량을 변동시킨 결과이며, 전체적으로 가스화 실험은 안정적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. Table 2는 G/C analyzer를 이용하여 중국탄을 이용한 실험결과의 가스조성 및 발열량을 나타낸 것이다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 가스화 반응초기에는 많은 양의 메탄이 발생되었으나 실험시간이 경과되면서 메탄의 함량이 감소하는 추세를 나타냈는데, 이는 가스화 반응 초기에 석탄층의 상단부에서 진행된 열분해 과정에 의한 것으로 판단되며, 발생되는 ash 배출의 어려움으로 연속적으로 석탄 시료를 공급할 수 없어 실험 시간이 경과되면서 열분해에 의한 가스화 보다는 석탄시료의 고정탄소와 산소 및 스팀의 반응이 우세해지기 때문으로 판단된다.

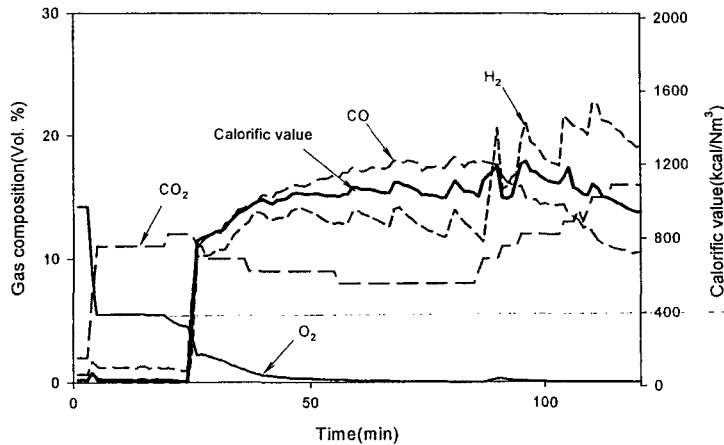


Fig. 2. Gas composition and calorific value

Table 2. Gas composition and calorific value using G/C analyzer

	Air 유량 (Nm ³ /hr)	Steam 유량 (kg/hr)	가 스 조 성 (vol. %)						발열량 (kcal/Nm ³)
			CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂	
No. 1	70	0	13.0	18.5	15.4	2.5	1.9	48.7	1,200
No. 2	60	0	12.2	19.3	14.4	2.3	1.4	50.4	1,176
No. 3	40	0	11.2	22.2	13.1	2.2	0.9	24.2	1,213
No. 4	30	0	10.5	22.4	12.8	2.1	1.3	50.9	1,201
No. 5	20	0	9.8	23.1	13.2	2.2	0.7	51.0	1,241
No. 6	50	7.2	11.9	20.7	17.4	1.6	1.4	47.0	1,240
No. 7	50	10	13.0	18.8	18.6	1.7	1.0	46.8	1,229
No. 8	50	15	14.6	16.5	20.6	1.5	1.3	45.6	1,203
No. 9	50	30	17.0	13.7	20.1	0.9	0.9	47.5	1,054

4. 결 론

가스화 실험을 위해 사용된 석탄시료는 중국탄, 베트남탄 및 기타 국내의 장성 및 경동탄 광에서 배출되는 탄이며, 본 논문에 인용된 실험결과는 최종실험용으로 사용된 중국탄에 대한 결과이며, 실험을 통해 얻어진 결과는 아래와 같다.

- 실험을 통해 얻어진 가스화장치 운전상의 know-how 및 설계상의 문제점을 개선한 후 실시된 중국탄을 이용한 실험에서 합성가스(CO + H₂) 조성 30~40%, 발열량 약 1,200kcal/Nm³의 가스를 얻을 수 있었다.
- 국내 무연탄은 회분함량이 높고 발열량이 중국탄에 비해 낮아 충분한 air의 공급이 요구되며, 본 가스화 실험을 통해 얻어진 장치 운전상의 know-how를 토대로 일부장치의 설계 변경 및 안정적 운전이 이루어진다면 국내 무연탄의 가스화를 통한 증유의 대체도 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 박태준 외, "석탄가스화의 이론 및 기술에 관한 연구", 한국에너지기술연구원 보고서, (1985).
2. 박태준 외, "석탄가스화 기술의 기초연구 및 공정선정에 관한 연구", 한국에너지기술연구원 보고서, (1988).
3. 최영찬, "해외출장보고서", 한국에너지기술연구원 보고서, (2002).
4. "Clean Waste Recycle - The BGL route at Schwarze pumpe", SVZ technical report, (2000).
5. 김상돈, "석탄에너지 변환기술", 대우학술총서, (1986)
6. Jose L. Figueiredo and Jacob A. Moulijn, "Carbon and Coal Gasification", Martinus Nijhoff Publishers, (1986)