

석탄가스화를 위한 수입 석탄의 적합성에 관한 실험적 연구

유영돈, 정석우, 김원배, 유희중, 윤용승
고등기술연구원 Plant Engineering 센터

An Experimental Study on Adaptability of Import Coals for Coal Gasification

Y. D. Yoo, S. W. Chung, W. B. Kim, H. J. Yoo, Y. Yun
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

1. 서론

석탄 가스화는 석탄을 고온에서 산소 및 증기와 반응시켜 석탄 내의 고형의 탄소, 수소 성분을 가스 연료인 일산화탄소 및 수소로 전환하는 것을 말하며, 발생된 연료 가스를 발전 연료, 연료 전지의 공급 가스 그리고 화학공정의 원료로 활용하고 있다. 이와같이 다양한 목적으로 활용이 가능한 석탄가스화에 적합한 탄종을 선정하기 위해서는 석탄의 구성 성분, 발열량, 회 용융점 및 구성 광물 등에 대한 검토가 필요하다.

본 연구의 목적은 우리나라 발전용 수입 석탄에 대한 가스화 실험을 통하여 가스화용으로 적합한 탄종을 제안하는 것으로, 현재 국외에 수입하여 미분탄 화력 발전소에서 사용하고 있는 탄종에서 성분과 회 용융점 등을 검토하여 가스화에 적합할 것으로 예상되는 8개의 탄종을 선정하였으며 선정된 탄종에 대하여 가스화 실험을 실시하였다. 선정된 탄종은 호주의 Curragh탄, Drayton탄, 인도네시아의 Kideco탄, Adaro탄, Baiduri탄, 미국의 Usibelli탄, Cyprus탄 그리고 러시아의 Denisovsky탄을 선정하였다.

8개 선정된 탄종에 대한 가스화 실험은 고등기술연구원이 보유하고 있는 3톤/일급 분류층 건식 슬래깅 방식 가스화기를 사용하여 진행하였으며, 실험 압력은 15기압에서 25기압 사이에서 주로 진행하였다. 본 논문에서는 8개 탄종의 가스화 실험을 통해 얻은 가스화 결과를 발표한 것이다.

2. 실험 장치

고등기술연구원이 보유하고 있는 석탄가스화 시스템은 크게 미분탄 저장 및 분쇄 시스템, 미분탄 수송 시스템, 가스화기 본체, 생성된 석탄가스 처리시스템 등으로 구성 되어있다¹⁾. 미분탄 저장 및 분쇄 시스템은 분류층 가스화기에 적합한 입자 크기로 미분탄을 건조, 분쇄 및 저장하는 시스템으로, 통상적으로 76 μ m 이하의 크기가 70~90%가 되도록 분쇄하면서, 수분 함량을 5% 이하로 건조하였다. 미분탄 수송 시스템은 건조/분쇄된 미분탄을 가스화기까지 수송하는 시스템으로, 질소를 이용한 공압 수송으로 소정의 위치로 이송 또는 분배하는 역할을 하는 것으로서, 고온 고압에서 운전되는 가스화기에 항상 정량의 미분탄이 주입되도록 하는 것이 시스템의 필수 요건이다. 이를 위해 본 설비에서는 록호퍼 시스템과 스크루 피이더로 구성된 고압 미분탄 주입 설비를 사용하였으며, 미분탄 주입 상태를 모니터링하기 위하여 차압 등을 측정할 수 있는 각종 계기류가 아울러 설치되어 있다. 가장 핵심 장치인 가스화기 본체는 가스화 반응로와 미분탄에 함유된 회분을 용융 상태인 슬래크 형태로 가스화기 하단부를 통하여 배출하여 슬래크을 냉각, 저장 그리고 배출시키는 슬래크 처리부 (slag quencher)로 구분된다. 가스화기에서 용융된 슬래크이 가스화기 하단부를 통하여 슬래크 처리부로 원활하게 떨어지게 하기 위해서는 가스화기 하단부의 온도 제어가 중요하며, 이를 위하여 가스화기 하단부에 메탄 버너를 장착하여 항상 가스화기 하단부의 온도를 고온으로 유지

하여 슬래크의 응고에 의한 막힘을 방지하였다. 석탄가스 처리 시스템은 1200℃ 정도로 배출되는 석탄가스를 냉각, 집진 그리고 세정을 시키는 것으로, 냉각수가 흐르는 2중관으로 생성가스를 냉각하였으며 사이클론을 통한 집진, 스크러버를 통한 세정 후 플레어 스택에서 연소되어 대기로 방출하였다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 대상탄의 특성

실험탄으로 선정된 탄종에 대한 공업분석, 원소분석, 무기물 분석, 발열량, 그리고 회용 온도는 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 실험 탄종에 대한 특성 분석값

Coal Items	U.S.A.		Australia		Indonesia			Russia	
	Usibelli	Cyprus	Drayton	Curragh	Kideco	Adaro	Baiduri	Denisovsky	
Proximate Analysis(wt %) ¹⁾									
Moisture	9.14	13.85	2.06	7.13	7.63	25.27	26.28	8.79	
Volatile Matter	44.11	36.37	37.93	19.98	45.44	34.28	32.78	20.08	
Fixed Carbon	36.88	46.37	49.25	56.76	45.38	37.37	37.02	59.05	
Ash	9.87	3.41	10.76	16.13	1.55	3.08	3.92	12.08	
Ultimate Analysis(wt %) ²⁾									
C	54.40	71.45	70.61	72.96	63.04	68.08	70.77	74.15	
H	4.55	5.35	4.94	3.45	5.11	5.40	5.56	4.68	
N	0.64	1.71	0.34	1.69	0.24	0.40	1.49	0.72	
S	0.17	0.29	0.90	0.90	0.52	0.12	1.37	0.34	
O	29.38	17.24	12.22	3.63	29.41	21.88	15.47	6.87	
Ash	10.86	3.96	10.99	17.37	1.68	4.12	5.32	13.24	
Inorganic Analysis(wt %)									
Al ₂ O ₃	18.93	14.58	17.80	22.80*	15.15	18.78	15.69	26.37	
SiO ₂	42.73	53.76	63.30	51.10*	37.93	39.18	27.93	54.59	
Fe ₂ O ₃	6.00	6.21	4.96	14.20*	21.47	16.57	9.48	8.29	
TiO ₂	0.74	0.80	1.09	1.50*	0.73	0.85	0.69	0.99	
MnO	-	0.05	0.05	0.10*	0.20	0.28	0.08	0.12	
CaO	21.01	7.20	2.43	3.20*	12.02	11.25	17.32	4.39	
MgO	3.13	1.86	0.72	1.40*	2.57	2.59	5.67	1.89	
K ₂ O	1.27	0.95	0.81	0.20*	0.98	1.42	0.99	1.69	
Na ₂ O	0.93	0.95	0.21	0.80*	0.19	0.80	3.62	0.43	
P ₂ O ₅	0.33	0.30	0.33	1.60*	0.10	2.42	0.84	1.16	
Gross Heating Value ²⁾ (kcal/kg)									
		5304	6080	6556	6614	5670	6748	6367	7139
Ash Fusion Temp. (Reduction)	I.T(℃)	1162	1155	1260*	1175*	1265	1250*	1150*	-
	S.T(℃)	1184	1165	1580*	-	1295	-	-	-
	H.T(℃)	1224	1193	1590*	1300*	1326	1290*	1250*	-
	F.T(℃)	1257	1289	>1600*	1380*	1408	1340*	1280*	1400*

주) 1) As-Received, 2) Moisture-free basis, * : 발전소 수입탄에 대한 분석치

먼저 공업 분석과 원소 분석 결과를 보면, 8개 탄종 중에서 Usibelli탄과 Kideco탄이 탄소 함량이 가장 낮고, 산소 함량이 가장 높은 반면, Denisovsky탄과 Curragh탄은 가장 높은 탄소 함량과 가장 낮은 산소 함량을 갖고 있다. 회재의 함량을 보면 Kideco탄의 경우 1.68%로 가장 적게 포함하고 있으며, Denisovsky탄은 13.24%로 가장 많이 포함하고 있음을 알 수

있다. 특히 인도네시아에서 채굴된 석탄들이 미국이나 호주 등에서 채굴된 석탄에 비해 평균적으로 회재 함량이 낮음을 알 수 있다. 발열량을 보면, 탄소 함량이 가장 낮은 Usibelli탄이 가장 낮은 5303.8kcal/kg이며, 또한 탄소 함량이 가장 높은 Denisovsky탄이 7138.9 kcal/kg으로 가장 높음을 알 수 있다.

회재 유동점 측정 결과를 보면, Usibelli탄이 1257℃로 가장 낮으며, Drayton탄은 1600℃ 이상임을 알 수 있으며, 이러한 결과로부터 회재의 유동점은 회재 내에 용융점이 높은 Al₂O₃ 나 SiO₂ 가 많이 존재하면 할수록 높아진다는 것이다. 따라서 Drayton탄과 같이 회유동점이 높은 경우에는 용융점 저하를 위하여 CaO와 같은 염기성 산화물을 첨가함으로써 산성도를 낮추어 회재의 용융점을 저하시키는 방법이 실제 적용되고 있다.

3.2 가스화 특성

공급된 미분탄 내의 고품의 탄소와 수소 성분을 가스상 연료인 CO, H₂로 전환하는 가스화기의 성능을 평가하는 지표로는 가스화기로부터 배출되는 석탄가스의 조성, 탄소전환률 그리고 냉가스효율등을 대표적으로 들 수 있다.

먼저 본 연구를 통하여 얻어진 8개 탄종에 대하여 CO 및 H₂의 최대 농도, 탄소전환율 그리고 냉가스효율을 <표 2>에 나타내었다. <표 2>에 나타낸 CO 및 H₂ 농도는 건가스에 대하여 질소를 제외한 가스를 기준으로 계산(N₂ free basis)한 것이다.

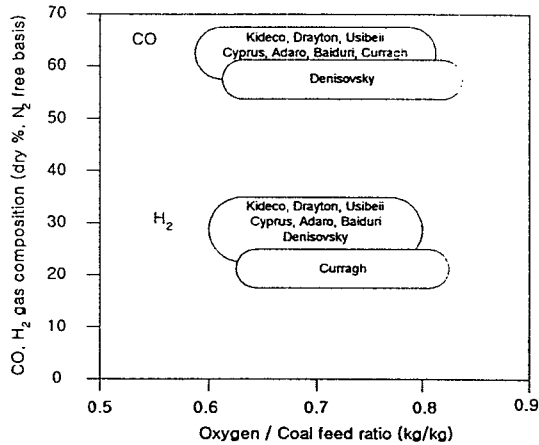
<표 2> 8개 탄종에 대한 CO, H₂의 최대 농도, 탄소전환율 및 냉가스효율

탄종	압력 (kg/cm ²)	산소/미분탄의 무게비 (-)	CO 농도 (%)	H ₂ 농도 (%)	탄소전환율 (%)	냉가스효율 (%)
Kideco탄	18~20	0.70~0.95	60~70	20~28	80~100	60~75
Drayton탄	12~14	0.70~1.00	60~70	30~35	80~100	63~70
Cyprus탄	19~25	0.75~0.92	55~60	30~35	85~100	60~75
Usibelli탄	17~25	0.63~0.78	60~65	20~28	90~100	60~70
Curragh탄	16~21	0.62~0.77	60~65	18~22	80~90	42~58
Adaro탄	24~25	0.60~0.73	60~67	25~33	80~100	65~75
Baiduri탄	22~26	0.70~0.95	60~67	22~33	83~100	60~70
Denisovsky탄	20~25	0.70~0.90	55~60	22~25	65~80	40~60

이상과 같이 8개의 탄종을 사용하여 가스화 실험을 실시한 결과를 요약하여 [그림 1]에 나타내었다. 생성된 석탄가스의 조성 중에 연료성분인 CO, H₂ 농도를 나타낸 것으로 CO 가스는 Kideco탄, Drayton탄, Usibelli탄, Cyprus탄, Adaro탄, Baiduri탄, Curragh탄에 대하여 평균적으로 60~66% 정도의 농도를 얻었으며, Denisovsky탄은 약간 낮은 55~60% 정도의 조성을 얻었다. 반면 H₂ 가스 농도는 Kideco탄, Drayton탄, Usibelli탄, Cyprus탄, Adaro탄, Baiduri탄, Denisovsky탄에 대하여 평균적으로 25~35% 정도이며, Curragh탄은 약간 낮은 20% 정도 값을 얻었다. 탄소전환율의 경우도 Curragh탄과 Denisovsky탄의 경우는 최대 90% 정도, 냉가스효율도 40~60% 정도로 타 탄종에 비해 낮은 결과를 얻었다.

따라서 3톤/일급 분류층 건식 석탄가스화기를 사용한 본 연구 결과, 8개의 탄종 중에서 상대적으로 가스화 특성이 낮은 Curragh탄과 Denisovsky탄을 제외한 탄종에 대해서는 생성된 가스 조성이 유사하였으며, 운전 조건에 따른 큰 차이점을 발견할 수 없었다. Curragh탄과 Denisovsky탄을 제외한 나머지 탄종 가운데서 회재의 유동점이 1600℃로, 타 탄종에 비해 월등히 높은 Drayton탄은 회재의 유동점을 저하시키기 위하여 플럭스를 첨가한다든지, 가

스화기 운전 온도를 타 탄종에 비해 고온에서 운전하여야하는 단점이 있으며, 회재를 많이 함유한 Usibelli탄은 회재의 유동점이 낮고 반응성이 우수하여 가스화 특성은 양호하지만, 회재의 양이 많고 석탄가스와 함께 배출되는 비산재 또는 비산 슬랙이 가스화기 출구 관로에 잘 부착되어 연속 운전할 경우 관로를 축소한다든지, 폐색시켜 연속 운전이 불가능하게 만드는 문제가 타 탄종에 비하여 자주 발생하였다. 따라서 Drayton탄과 Usibelli탄을 제외하면, 석탄 가스화용 적합탄으로는 인도네시아의 Adaro탄, Baiduri탄, Kideco탄과 미국 Cyprus탄이 적합하다고 판단된다.



[그림 1] 8개 탄종에 대한 CO, H₂의 최대 농도

4. 결론

본 연구에서는 3톤/일급 분류층 건식 석탄가스화기를 사용하여 호주의 Curragh탄, Drayton탄, 인도네시아의 Kideco탄, Adaro탄, Baiduri탄, 미국의 Usibelli탄, Cyprus탄 그리고 러시아의 Denisovsky탄에 대하여 가스화기 운전 압력이 12~26 기압하에서 가스화 실험을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가스화로 얻어진 생성 가스 조성 관점에서는 Drayton탄, Kideco탄, Adaro탄, Baiduri탄, Usibelli탄, Cyprus탄이 유사한 생성가스 중의 CO, H₂ 농도를 얻었다. 가스화기의 연속 운전 시 Usibelli탄은 비산재 또는 비산 슬랙이 가스화기 후단의 열교환기나 배출관로 등에 부착하여 관로를 폐색시키는 문제가 타 탄종에 비하여 자주 발생하였으며, Drayton탄의 경우는 회 용융점이 높아 가스화기 운전 농도가 타 탄종에 비하여 고온이라는 단점이 있다. 따라서 생성 가스의 조성 및 운전 용이성 등을 종합적으로 판단한 결과, 가스화에 적합한 탄종으로는 인도네시아의 Adaro탄, Baiduri탄, Kideco탄과 미국 Cyprus탄임을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 R&D본부에서 지원하는 “Bench 급 건식 석탄 가스화기 운전 및 모사기술개발(II)” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 산업자원부: “Bench Scale급 건식 석탄가스화기 운전 및 모사기술개발 (II)”, (2000).