

## 마이크로웨이브 플라즈마를 이용한 석탄가스화 특성 연구

김두일<sup>1</sup> · 이재구<sup>1</sup> · 김용구<sup>1</sup> · 윤상준<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>한국에너지기술연구원 청정연료연구단

## The Characteristics of Coal Gasification using Microwave Plasma

DOOIL KIM<sup>1</sup>, JAEGOO LEE<sup>1</sup>, YONGKU KIM<sup>1</sup>, SANGJUN YOON<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Clean Fuel Center, Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-343, Korea

**Abstract** >> The investigation of clean and environment-friendly coal utilization technology is actively progressed due to high oil price and serious climate change caused by greenhouse gas emissions. In this study, the plasma gasification was performed using a 6kW microwave plasma unit under various reaction conditions: the particle sizes of coal (45 $\mu$ m - 150 $\mu$ m), O<sub>2</sub>/fuel ratio (0 - 1.3), and steam/fuel ratio (0 - 1.5). The H<sub>2</sub> composition decreases with decreasing coal particle size. With increasing O<sub>2</sub>/fuel ratio, the H<sub>2</sub> composition in the syngas decreased while the CO<sub>2</sub> composition increased. As the steam/fuel ratio increased from 0 to 1.5, the H<sub>2</sub> composition in the syngas increased while the CO<sub>2</sub> composition decreased. From the results, it was proven that the variation of syngas composition greatly affected by O<sub>2</sub>/fuel ratio than steam/fuel ratio. The H<sub>2</sub> composition in the syngas, carbon conversion, and cold gas efficiency increased with increasing plasma power.

**Key words** : Coal(석탄), Gasification(가스화), Microwave(마이크로웨이브), Plasma(플라즈마), Syngas(합성가스)

### 1. 서 론

에너지기후시대(energy-climate era)에 지구온난화(global warming)와 에너지안보에 대한 관심은 사회적 문제를 넘어 생존의 문제로까지 다가서고 있다. 지속 가능하고 환경 친화적인 에너지를 개발하기 위한 전세계적 노력은 후쿠시마 원전사고 이후 더욱 가속화 될 것으로 전망이다. 에너지 자원이 거의 없는 국내의 경우 기술적 접근을 통하여 자원을 활용하는 연구개발 정책이 매우 중요하다. 최근 들어 미국의 에너지성, 일본의 JCOAL, 유럽의 EUROCOAL등을 주축

으로 석탄의 친환경적 사용기술에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 이 같은 움직임에 기존의 화석연료의 활용에 있어서 환경 친화적인 기술이 도입되고 있으며, 그 대표적인 사례로 가스화 기술을 꼽을 수 있다. 가스화는 석탄을 연소한 후 발생하는 열을 이용하여 발전하는 기존의 석탄화력발전소와는 달리, 부분산화를 통하여 생성되는 열로 화력발전방식과 동일하게 스팀을 만들어 발전하는 것은 물론, 가스화에 의해 생성되는 합성가스는 H<sub>2</sub>와 CO가 주요성분으로 써 고체연료 대체용이거나 전력생산, 화학원료 및 합성연료 제조용으로 활용이 가능하다<sup>2,3)</sup>.

가스화 기술은 18세기 말부터 산업에 사용되기 시작하여 20세기 1920~1940년대에 이르러서는 가스화 기술 개발이 현재와 같은 개념의 공정으로서 구축하게 되었다. 현재는 미국, 유럽연합, 일본, 중국 등의 나라

<sup>†</sup> Corresponding author : yoonsj@kier.re.kr

[ 접수일 : 2012.1.30 수정일 : 2012.2.13 게재확정일 : 2012.2.24 ]

Copyright © 2012 KHNES

들이 상용급 석탄가스화기 기술을 보유하고 있으며 가스화 공정에 사용되는 가스화기는 고정층, 유동층, 분류층 등 다양한 형태로 개발되어 왔다. 그러나 기존 가스화 기술의 경우 연료의 부분 산화를 통한 가스화에 필요한 고온을 유지하여야 하기 때문에 발열량이 높은 양질의 석탄이 사용되어야 하는 단점을 가지고 있다. 반면 플라즈마 가스화 기술의 경우 외부의 전기 에너지를 이용한 고온의 플라즈마 화염으로 가스화 반응 온도를 형성하기 때문에 산화에 필요한 산소분리장치의 부담이 적어지거나 필요가 없게 되고 발열량이 낮아서 고온의 가스화 반응 온도를 유지하기 어려운 저급탄의 적용도 가능하다. 플라즈마 가스화 기술의 경우 산화반응이 거의 일어나지 않기 때문에 석탄의 활용시 CO<sub>2</sub>의 발생이 매우 적다는 장점 또한 갖고 있다. 플라즈마 석탄가스화 반응에서 평형 조성에 대한 열역학적 분석에 의하면, 생성가스는 주로 H<sub>2</sub>와 CO로 구성되며 CO<sub>2</sub>는 1% 미만이다<sup>4)</sup>. 또한 플라즈마를 이용하는 경우 라디칼, 이온들을 포함하는 active particles의 생성으로 인하여 화학반응을 촉진시키며, 이로 인하여 반응 시간을 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>5,6)</sup>.

플라즈마를 이용한 연료 활용 기술의 경우 대부분 초고온 플라즈마 토치를 기반으로 하는 기술로, 효율이 높고 안정적 운영이 가능한 플라즈마 토치의 사용이 열 플라즈마 이용 기술의 핵심이다. 그러나 수소와 일산화탄소를 포함한 합성가스를 생성하기 위해서는 스팀을 공급해 주어야 하는데 아크 플라즈마의 경우 아크 전극이 수분에 취약하기 때문에 전극 수명을 단축시키는 단점을 가지고 있다. 마이크로웨이브 플라즈마의 경우 아크 플라즈마 보다 화염의 온도는 낮으나 순수 스팀을 이용한 플라즈마 화염 형성도 가능하다. 마이크로웨이브 플라즈마의 경우 아크 플라즈마보다 연구가 미비하며 대부분이 바이오매스 및 폐기물의 처리에 대한 것으로 다양한 시료 및 조건에 대한 마이크로 웨이브 플라즈마 석탄 가스화에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 다양한 크기의 석탄을 이용하여 마이크로웨이브 플라즈마를 이용한 석탄 가스화 특성을 조사하였다. 플라즈마 형성 가스는 질소, 스팀을

**Table 1** Ultimate, proximate, and higher heating value analysis of coal

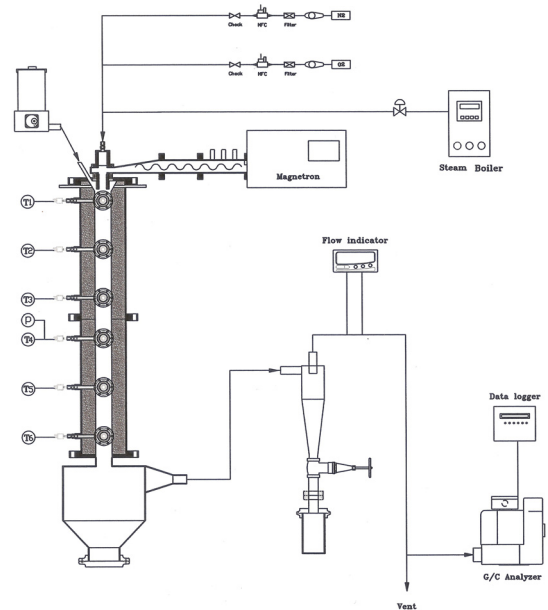
Proximate analysis (wt%)				Ultimate analysis (wt%)					Higher heating value (kcal/Nm <sup>3</sup> )
Moist.	VM	Ash	FC	C	H	N	S	O	
5.17	31.71	5.80	57.32	67.46	4.96	1.03	0.71	14.86	6,465

사용하였으며, O<sub>2</sub>/fuel ratio와 steam/fuel ratio를 변화하여 합성가스의 조성을 확인하였고 플라즈마 파워의 출력을 변화시켜 보았다.

## 2. 실험

### 2.1 석탄시료

본 연구에 사용된 석탄은 국내 수미탄 중 하나인 역청탄 계열의 중국 Shenhua탄으로 원소, 공업, 발열량 분석값을 Table 1에 정리하였다. Shenhua탄은 수분함량과 회분함량이 각각 5.17wt%와 5.8wt%로 낮



**Fig. 1** 6kWe-microwave plasma gasification apparatus

은편이며 휘발분 함량이 31.71wt%로 높은편이다. 플라즈마 가스화에 사용된 석탄은 분쇄한 후 45~150  $\mu\text{m}$  크기로 선별하여 사용하였다.

## 2.2 실험 장치

본 연구에서는 플라즈마를 생성하기 위해서 6kW의 microwave generator(2.45GHz, SM1280, Richardson Electronics)를 사용하였고 플라즈마 가스화 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 장치는 석탄의 정량 공급부, 마이크로웨이브 생성기, 스팀 공급부, 가스 화제 및 플라즈마 형성가스 공급부, 가스화 반응기, 가스 정제 및 분석기, 데이터 수집 부분으로 구성된다. 석탄 공급부에서는 1~66g/min의 양으로 스크류 피더를 사용하여 정량공급 하였다. 플라즈마 형성가스로는 질소와 스팀을 사용하였고, 가스화 산화제로는 산소를 사용하였으며 MFC를 이용하여 공급하였다. 가스화제로 사용된 스팀의 경우 스팀보일러를 이용하여 가스화 반응기로 공급하였다. 직경이 5.8cm인 반응기로 공급되는 플라즈마 형성가스와 산소, 스팀의 경우 플라즈마 화염의 응집, 반응기 열적 충격을 줄이며 반응기 내 체류시간을 높이기 위해 선회기류로 공급되도록 하였다. 석탄 공급부는 플라즈마 형성을 위한 플라즈마 형성가스와 마이크로웨이브가 만나 플라즈마 화염이 형성되는 지점에서 2cm 정도 떨어진 지점에서 공급되도록 하였다. 반응기 위치별 온도 측정을 위하여 정확도  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 2개의 R-type 및 4개의 K-type thermocouple을 석탄 공급부로부터 일정한 간격으로 설치하였다. 플라즈마 가스화 반응으로 생성된 합성가스는 미연탄소, 회재 및 수분 등의 제거를 위하여 cyclone, filter를 거친 후 정량, 정성 분석을 위하여 GC(HP6890)로 공급되도록 하였다. 반응기 위치별 온도, 유량, 합성가스 조성은 컴퓨터를 통하여 실시간으로 확인하였다.

## 2.3 실험 조건

본 연구에서의 주요변수는 석탄의 크기,  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio,

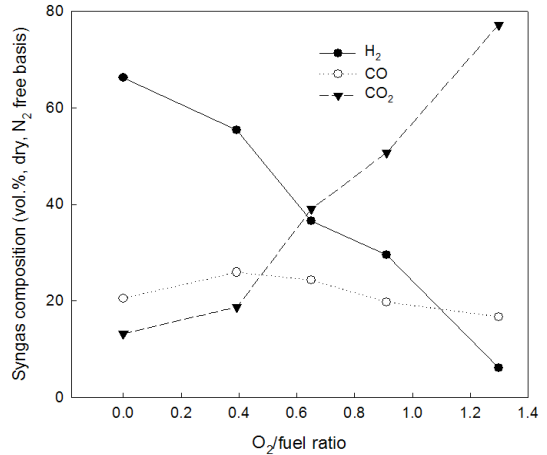


Fig. 2 Syngas composition at various  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio (coal particle size: 150 $\mu\text{m}$ )

steam/fuel ratio와 플라즈마의 출력을 실험변수로 선정하였고 실험변수를 변화시켜 합성가스 생성특성을 알아보았다. 실험에 사용된 석탄의 크기는 45, 63, 106, 150 $\mu\text{m}$ 의 크기로 4가지를 준비하였고  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio를 0에서부터 1.3까지 넓은 범위의 변화를 주어 각각 실험하였다. Steam/fuel ratio는 0에서 1.5까지 변화시켜 45 $\mu\text{m}$  크기의 석탄을 대표로 이용하여 생성되는 합성가스 조성을 비교해 보았다. 기본적으로 플라즈마의 출력은 1.6kW로 실험하였고 플라즈마의 출력을 5.0, 5.5kW로 높이는 경우 합성가스의 변화도 확인하였다. 실험변수가 가스화 특성에 미치는 전반적인 영향을 고찰하였기 때문에 샘플링을 하는 시간을 일정하게 하였으며 반복측정을 하여 오차를 줄였다.

## 3. 결과 및 고찰

Steam/fuel ratio를 1로 일정하게 유지하는 조건에서  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio에 따른 1.6kW 마이크로웨이브 플라즈마 화염을 이용한 150 $\mu\text{m}$  크기의 Shenhua탄을 이용하여 가스화 후 생성되는 합성가스 조성 변화를 Fig. 2에 나타냈다.  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio가 증가할수록  $\text{H}_2$ 의 함량이 66.2%에서 6.1%로 감소하며,  $\text{CO}_2$ 는 13.1%에서 77.7%로 증가하는 것으로 나타내고 있다. 이는 일정한  $\text{O}_2/\text{fuel}$  ratio가 넘어가면 잉여산소가  $\text{H}_2$ 를 연소시

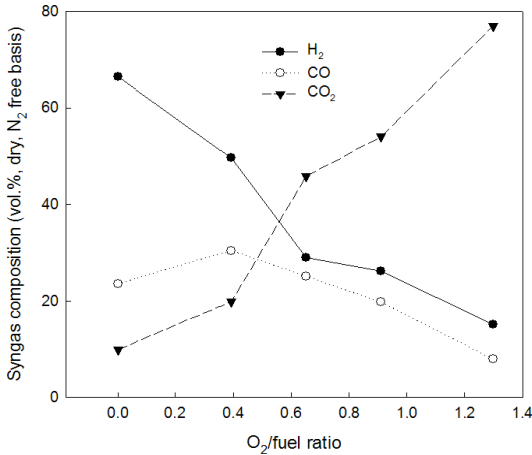


Fig. 3 Syngas composition at various O<sub>2</sub>/fuel ratio (coal particle size: 106µm)

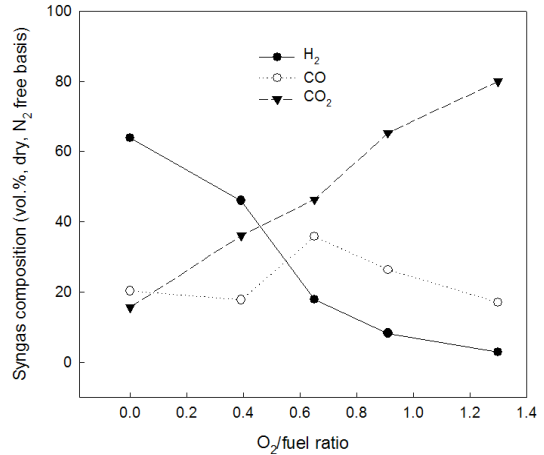


Fig. 4 Syngas composition at various O<sub>2</sub>/fuel ratio (coal particle size: 63µm)

키기 때문이다. CH<sub>4</sub>는 생성되지 않았으며 CO의 경우 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0.4까지는 증가하다가 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 이는 H<sub>2</sub>와 마찬가지로 산소의 양이 증가할수록 시료가 연소되면서 CO<sub>2</sub>의 양이 증가함으로써 상대적으로 CO의 양이 줄어든 것으로 이해할 수 있다. 이러한 O<sub>2</sub>/fuel ratio에 따른 합성가스 내 가스 조성의 증감 경향은 기존의 플라즈마를 사용하지 않는 석탄, 석유코크스, 바이오매스의 가스화 경향과 유사한 결과이다<sup>7,9)</sup>. Fig. 2의 결과를 보면 O<sub>2</sub>/fuel ratio에 의하여 합성가스의 조성이 많이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이를 다르게 말하면 합성가스의 조성을 폭넓게 변화시킬 수 있다는 것으로 가스화에 의해 생성된 합성가스를 이용하여 암모니아, 메탄올, 산업용가스 등을 제조할 수 있고 청정연료가스, 전력과 같은 유틸리티에 걸쳐 다양하게 사용이 가능할 것으로 생각되어진다. 이런 결과가 얻어진 이유는 앞서도 언급하였듯이 플라즈마 가스화의 경우는 외부의 열을 이용하기 때문에 기존 가스화에 열을 발생시키기 위해 필요한 연료의 부분산화에 필요한 산소를 주입하지 않아도 되기 때문이다. 산소가 주입되면 연료의 연소에 의하여 CO<sub>2</sub>가 증가하게 되므로 H<sub>2</sub>와 CO의 함량이 줄어들게 된다. DME 제조를 위해서는 H<sub>2</sub>와 CO 비율을 1:1로, 합성석유 제조

를 위해서는 2:1로 해주어야 하는데 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0.4~0.7 범위에서 합성연료에 필요한 합성가스 조성으로 조절이 가능하다.

Fig. 3은 106µm 크기의 석탄을 이용하여 앞서 Fig. 2와 동일한 조건에서 가스화 후 생성되는 합성가스의 조성 변화를 나타낸 것으로, 150µm 크기의 석탄을 사용한 플라즈마 가스화의 경우와 유사한 경향을 보였다. H<sub>2</sub>는 O<sub>2</sub>/fuel ratio에 따라 감소하나 CO<sub>2</sub>는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 산소를 주입하지 않은 경우 H<sub>2</sub>는 66.4%로 150µm 크기의 석탄을 사용하여 가스화 후 생성된 합성가스와 별 차이가 없었으나 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 증가할수록 H<sub>2</sub>의 양이 줄어들어 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 1.3일 때 H<sub>2</sub>가 15%로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0에서 1.3으로 변할수록 H<sub>2</sub>는 50%가 줄고 CO<sub>2</sub>는 70%가 증가하는 것을 보아 O<sub>2</sub>/fuel ratio 영향이 큰 것으로 판단된다. 필요이상의 산소가 주입되면 탄소전환율은 높아지나 냉가스효율은 줄어들게 되어 효율면에서 좋지 않은 것으로 평가 되고 있다. 이를 통하여 합성가스의 용도에 따라서 합성가스의 조성을 산소 공급량 변화에 따라 쉽게 조절할 수 있을 것으로 판단된다<sup>10-12)</sup>.

Fig. 4는 steam/fuel ratio가 1, 플라즈마 파워가

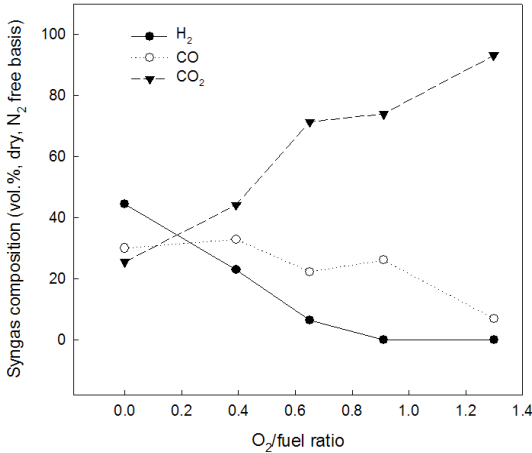


Fig. 5 Syngas composition at various O<sub>2</sub>/fuel ratio (coal particle size: 45 $\mu$ m)

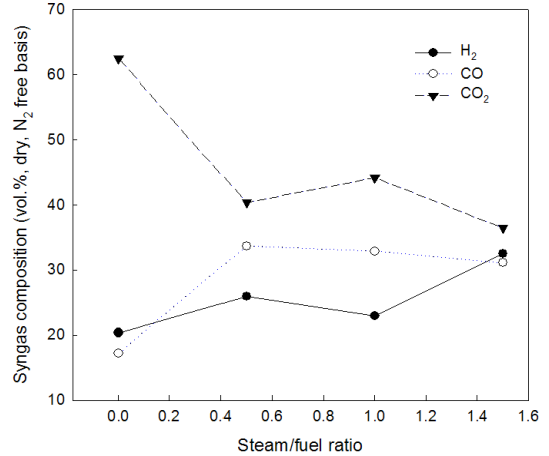


Fig. 6 Syngas composition at various steam/fuel ratio (coal particle size: 45 $\mu$ m)

1.6kW로 일정한 조건에서 63 $\mu$ m 크기의 석탄을 가스화하여 얻은 합성가스 조성이다. O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0일 때 63.9%의 H<sub>2</sub>를 얻을 수 있었다. 그러나 106 $\mu$ m, 150 $\mu$ m 크기의 석탄과 마찬가지로 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 증가할수록 H<sub>2</sub>의 함량이 감소하며 CO<sub>2</sub>의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 앞에서 설명한 106 $\mu$ m, 150 $\mu$ m 크기의 석탄과 63 $\mu$ m 석탄의 가스화 합성가스 조성 결과를 비교해보면 석탄의 크기가 작아질수록 합성가스 내 H<sub>2</sub>와 CO 함량은 줄어들고 CO<sub>2</sub>는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 기존의 가스화 반응에서는 입자크기가 작을수록 반응할 수 있는 시료의 표면적이 넓어져 냉가스효율이 좋아지는 것으로 알려져 있으나 마이크로웨이브 플라즈마를 통한 석탄가스화의 경우는 합성가스 발열량의 감소로 냉가스효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 작은 입자크기 석탄의 경우 플라즈마 형성가스의 유속에 의하여 플라즈마의 화염과의 체류시간이 단축되어 탈휘발화된 석탄 좌 입자가 고온의 플라즈마 화염 영역에서 완전히 가스화되기에 필요한 충분한 체류를 하지 못하였기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 실험에서 가장 작은 크기인 45 $\mu$ m 크기의 석탄을 이용한 가스화 후 생성된 합성가스의 조성이다. 앞에서도 언급되었듯이 석탄과 플라즈마 화염과

의 체류시간이 짧아서 합성가스 내 H<sub>2</sub>의 함량이 적어진 것으로 나타났으며 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0일 때 H<sub>2</sub>의 함량이 44.5%였으며 0.9이후는 H<sub>2</sub>가 생성되지 않았다.

앞서 결과에서 보면, 45 $\mu$ m 석탄 입자의 가스화 합성가스가 가장 낮은 H<sub>2</sub> 함량을 보였다. 플라즈마 가스화에서 스팀의 양에 따른 H<sub>2</sub>를 포함하는 합성가스 조성 변화를 확인하기 위하여 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0.39, 플라즈마 파워 1.6kW로 일정한 조건에서 45 $\mu$ m 크기의 석탄을 이용한 플라즈마 가스화 실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 보였다. Steam/fuel ratio가 0에서 1.5로 증가할수록 H<sub>2</sub>의 함량은 20.3%에서 32.4%로 증가하였고 CO의 함량은 17.1%에서 31%로 증가하였다. H<sub>2</sub>와 CO가 증가한다는 것은 C + H<sub>2</sub>O반응이 활성화된다는 것을 의미한다. 이 반응은 상당한 흡열 반응이기 때문에 주위의 온도가 충분히 높을 때 일어나는 것으로 고온의 플라즈마 환경에 의한 것으로 생각되어진다. CO<sub>2</sub>는 steam/fuel ratio가 증가할수록 62.4%에서 36.4%로 줄어드는 것으로 나타났다. 일반 가스화기의 경우는 스팀이 주입됨에 따라 고온에서 수성가스전환반응이 일어나면서 CO가 스팀(H<sub>2</sub>O)과 반응하여 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>로 생성되어 증가하며 CO는 감소하는 것으로 나타나는데 플라즈마 가스화의 경우는 다른 것으로 나타났다. 앞서 O<sub>2</sub>/fuel ratio에 따

**Table 2** Effect of oxygen, steam, and plasma power on the syngas composition and efficiency

	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
Plasma power (kW)	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0
Coal (kg/h)	1.26	1.26	1.26	3.96	0.75
Steam (kg/h)	1.1	1.1	0.6	0.6	0.6
N <sub>2</sub> (L/min)	16	16	24	24	24
O <sub>2</sub> (L/min)	4	4	6	6	6
O <sub>2</sub> /fuel	0.272	0.272	0.408	0.130	0.686
steam/fuel	0.87	0.87	0.476	0.152	0.80
H <sub>2</sub> (vol%)	31.79	35.60	46.65	50.22	39.72
CO (vol%)	31.95	29.75	31.73	29.87	29.92
CO <sub>2</sub> (vol%)	34.84	33.37	20.67	18.39	28.95
CH <sub>4</sub> (vol%)	1.42	1.28	0.95	1.53	1.42
Gas heating value (kcal/Nm <sup>3</sup> )	1,963	1,998	2,343	2,445	2,134
Carbon conversion (%)	22.89	27.98	53.68	6.33	73.83
Cold gas efficiency (%)	11.80	15.55	42.25	5.57	46.81

른 석탄별 플라즈마 가스화 생성가스의 조성 변화와 비교하면 steam/fuel ratio를 변화하는 경우 상대적으로 합성가스의 조성이 크게 변하지 않음을 확인할 수 있다. 곧, 합성가스 조성의 변화는 가스화제로 사용되는 스팀과 산소 중에서 산소 공급량에 의한 영향이 우세함을 알 수 있다.

Table 2는 플라즈마 출력 증가에 따른 투입되는 석탄의 양 증가와 O<sub>2</sub>/fuel ratio, steam/fuel ratio의 변화에 따른 합성가스 변화를 알아보았다. Case 1과 2를 비교해보면 5kW에서 5.5kW로 플라즈마 출력이 증가할수록 H<sub>2</sub>의 함량이 31.79%에서 35.6%로 증가한 것을 확인할 수 있고 CO<sub>2</sub>와 CO의 함량이 조금 줄어들긴 했으나 H<sub>2</sub>의 증가에 의하여 가스의 발열량이 1,998kcal/Nm<sup>3</sup>로 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 탄소전환율과 냉가스효율이 5kW 플라즈마 화염일 때 보다 높았다. 이는 플라즈마의 출력이 높아질수록 플라즈마의 화염의 길이가 길어져서 석탄의 체류시간이 길어져 효율이 좋아진 것으로 생각되어진다.

Case 3은 플라즈마 출력을 5kW로 높였을 때 스팀에 의한 영향을 비교해보았다. Fig. 6의 steam/fuel ratio가 0.5일 때 데이터와 비교해보면 5kW의 플라즈마 출

력을 사용하였을 때는 H<sub>2</sub>의 함량이 25.9%에서 46.65%로 증가하였으며 CO는 33.6%에서 31.73%로 감소하였고 CO<sub>2</sub>의 함량은 40.3%에서 20.67%로 감소한 것을 확인할 수 있다. 석탄의 투입량에 대한 영향을 알아보기 위해서 case 4와 5를 비교해보았다. case 4의 경우 H<sub>2</sub>의 함량이 50.22%로 가장 높았으나 과도한 석탄의 투입에 의해서 탄소전환율과 냉가스효율이 가장 낮아 미반응 석탄으로 인해 비효율적인 것으로 나타났다. 반면 case 5는 석탄의 투입량을 줄여 O<sub>2</sub>/fuel ratio를 0.7, steam/fuel ratio를 0.8로 변화를 주었을 때 탄소전환율이 74%로 높게 나왔으며 냉가스효율이 47%로 증가하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 마이크로웨이브 플라즈마를 이용하여 석탄의 크기, O<sub>2</sub>/fuel ratio, steam/fuel ratio 및 플라즈마 파워에 따른 석탄가스화 생성가스 특성 변화를 알아보았다. 석탄의 크기가 작아질수록 수소의 함량이 줄어들고 CO<sub>2</sub>의 함량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 플라즈마 형성가스에 의한 기류에 의하여 플라즈마의 화염과 석탄과의 체류시간이 줄어들어서 가스화 효율이 떨어진 것으로 판단된다. O<sub>2</sub>/fuel ratio가 증가할수록 CO<sub>2</sub>는 증가하고 H<sub>2</sub>는 감소하는 경향을 보였는데 이는 산소의 양이 증가하여 석탄이 연소가 되어 CO<sub>2</sub>가 증가한 것으로 판단된다. Steam/fuel ratio가 증가함에 따라 합성가스 내 H<sub>2</sub>와 CO는 증가하고 CO<sub>2</sub>는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 가스화기에 공급되는 스팀의 양이 증가하면서 C + H<sub>2</sub>O반응이 활성화된 것으로 판단된다. O<sub>2</sub>/fuel ratio에 의한 영향이 steam/fuel ratio에 의한 영향보다 더 큰 것으로 나타났으며 산소를 주입하지 않아도 되는 플라즈마 가스화의 특성에 의하여 O<sub>2</sub>/fuel ratio가 0인 경우 60%대의 합성가스 내 높은 H<sub>2</sub> 함량을 얻을 수 있었다. 플라즈마의 출력을 높였을 때 플라즈마 화염의 길이가 길어져서 보다 좋은 가스화 효율을 얻을 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 기초기술연구회 협동연구사업 국가사회적 문제해결형 과제(NAP)와 지경부 산업융합원천 기술개발사업 K-MEG 과제의 일환으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. P. F. Godley, and L. Joseph, "Clean Coal Technology Program; Model for Government/Industry Cooperation", *Energy Lay Journal*, Vol. 1, 1994, p. 439.
2. H. Seo, J. Chung, and J. Ju, "The Design Conditions and The Initial Operation Results of 1 Ton/Day Class Dry Feeding Coal-Gasification System", *Trans. of the Korean Society of Hydrogen Energy*, Vol. 20, No. 4, 2009, p. 352.
3. <http://www.gasification.org>.
4. B. G. Ivan, and I. M. Boris, "Some General Conclusions from the Results of Studies on Solid Fuel Steam Plasma Gasification", *Fuel*, Vol. 71, 1992, p. 895.
5. P. M. Kanilo, V. I. Kazantsev, N. I. Rasyuk, K. Schünemann, and D. M. Vavriv, "Microwave Plasma Combustion of Coal", *Fuel*, Vol. 82, 2003, p. 187.
6. Q. Jieshan, H. Xiaojun, S. Tianjun, Z. Zongbin, Z. Ying, G. Shuhong, Z. Jialiang, and M. Tengcai, "Coal Gasification in Steam and Air Medium under Plasma Conditions: A Preliminary Study", *Fuel Processing Technology*, Vol. 85, 2004, p. 969.
7. Y. C. Choi, X. Y. Li, T. J. Park, J. H. Kim, and J. G. Lee, "Numerical Study on the Coal Gasification Characteristics in an Entrained Flow Coal Gasifier", *Fuel*, Vol. 80, 2001, p. 2193.
8. S. J. Yoon, Y. C. Choi, Y. I. Son, S. H. Lee, and J. G. Lee, "Gasification of Biodiesel By-product with Air or Oxygen to Make Syngas", *Bioresource Technology*, Vol. 101, 2010, p. 1227.
9. C. Nenad, R. Branislav, M. Rastko, N. Olivera, and V. Miomir, "Experimental Investigation of Role of Steam in Entrained Flow Coal Gasification", *Fuel*, Vol. 86, 2007, p. 194.
10. J. Phillips, "Gasification Combined Cycles 101", 2005.
11. S. J. Yoon, J. G. Lee, "Syngas Production from Coal through Microwave Plasma Gasification: Influence of Oxygen, Steam, and Coal Particle Size", *Energy & Fuels*, Vol. 26, 2012, p. 524.
12. Y. C. Choi, T. J. Park, J. H. Kim, J. G. Lee, J. C. Hong, and Y. G. Kim, "Experimental Studies of 1Ton/Day Coal Slurry Feed Type Oxygen Blown, Entrained Flow Gasifier", *Korean J. Chemical Engineering*, Vol. 18, 2001, p. 493.