

하향류식 고정층 바이오매스 가스화기를 이용한 합성가스 생성특성 연구

윤 상준¹⁾, 최 영찬²⁾, 김 용구³⁾, 이재구⁴⁾*

Syngas Production from Biomass Using a Downdraft Fixed-bed Gasifier

SangJun Yoon, YoungChan Choi, YongGu Kim, JaeGoo Lee

Key words : Syngas(합성가스), Biomass(바이오매스), Downdraft(하향류식), Gasification(가스화)

Abstract : 바이오매스를 이용한 분산형 발전 및 에너지화의 경우 기존의 연소법은 단순 열에너지의 이용과 스팀터빈을 이용하는 대규모 시설이 요구된다. 반면 가스화의 경우 가연성 합성가스 생성을 통하여 소규모 분산형 발전이 가능하며, 생성가스를 이용하여 다양한 응용이 가능하다. 기존 상향류식 가스화의 경우의 바이오매스 가스화시 목질계 내 리그닌 성분으로 인하여 다량의 타르가 발생하여 후단 처리 설비에 어려움이 있다. 본 연구에서는 하향류식 가스화 방법을 통하여 목질계 바이오매스의 가스화 특성을 알아보았다. 가스화기 하부로 배출되는 합성가스의 온도는 대략 1000℃까지 유지할 수 있었으며, 생성되는 합성가스의 발열량은 약 1300kcal/Nm³의 수준으로 얻을 수 있었다. 또한 발생하는 타르는 5~15ppm 정도로 기존 상향류식에 비해 매우 적은양의 타르가 발생함을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

바이오매스는 지구상의 이산화탄소가 태양에너지에 의해 탄소화합물의 형태로 저장되어 있는 것으로서, 에너지로 이용하기 위해서는 화석연료에 비하여 에너지 밀도가 적고, 특히 공업적으로 이용하기 위해서는 이용하기 쉬운 형태로 변환시켜야만 한다. 예를 들면 화석연료와 같이 액화, 가스화, 전기에너지 등으로 변환되어져야 기존의 에너지 장비를 사용할 수 있게 된다. 이러한 관점에서 다양한 연구가 행해지고 있는 것이며, 현재까지는 주로 직접 연소방식으로 이용되어 왔다. 직접연소에 의한 바이오매스 발전소는 유럽 및 일본에서 그 사례가 많이 있지만, 본 방법의 단점은 효율적으로 에너지를 추출해내기 위해서는 스팀터빈 규모가 커져야만 한다는 점이다. 따라서 발전효율이 높은 합성가스엔진, 마이크로터빈 등의 방식에 의한 발전이 소규모 적용측면에서는 적합하며 이러한 방식을 제공해줄 수 있는 것이 바로 가스화 방식이다. 이러한 요인들에 의해 최근 바이오매스 가스화 이용에 관한 많은 기획과 기술개발이 국내에서도 활발하게 추진되고 있다.⁽¹⁾

바이오매스는 비교적 높은 H/C 비를 갖기 때문에 가스화 특성이 석탄보다는 손쉽다고 할 수 있다. 또한 구성 성분 중 중금속, 황, 질소를 거의 함유하지 않는 점에서, 생성가스 중의 SO_x, NO_x의 함유량도 적고 촉매 피독도 큰 문제가 되지 않는다. 바이오매스 가스화 공정을 상업화하는데 가장 큰 문제점으로는 집하, 운반에 걸리는 높은 비용이라고 할 수 있다. 그러나 석탄과 폐기물 가스화 프로세스가 각국에서 상당수 가동하고 있는 점을 고려해본다면 바이오매스 공급 문제가 어느 정도 해결된다면 가스화 공정기술이 발전함에 따라 그 실용화도 매우 유망한 것으로 전망되고 있다.⁽²⁾

여러가지 바이오매스 장점에도 불구하고 손쉽

- 1) 한국에너지기술연구원
E-mail : yoonsj@kier.re.kr
Tel : (042)860-3305 Fax : (042)860-3134
- 2) 한국에너지기술연구원
E-mail :
Tel : (042)860-3784 Fax : (042)860-3134
- 3) 한국에너지기술연구원
E-mail :
Tel : (042)860-3354 Fax : (042)860-3134
- 4) 한국에너지기술연구원
E-mail : jaegoo@kier.re.kr
Tel : (042)860-3350 Fax : (042)860-3134

게 가스화가 상용화되고 있지 못하는 이유는 바이오매스로부터 가스화에 의해 생성된 합성가스 중에는 분해가 어려운 리그닌 성분으로부터 30% 내외의 tar 또는 soot 발생으로 인하여 장기적으로 운전할 때에는 합성가스 정제를 위한 세척 또는 집진부담이 증가하게 된다. 또한 타르나 soot가 합성가스와 동반하여 발전 블록으로 공급되는 경우에는 기기 훼손의 원인으로 작용하게 되기 때문이다.⁽³⁾

가스화 공정에서 제조된 합성가스 품질을 향상시키고, 탄소전환율을 증가시키기 위해서는 분해가 어려운 tar나 soot 성분을 물리적으로 제거하는 것보다는 열화학적 변환에 의해 합성가스로 전환시켜주는 것이 좋다고 할 수 있다. 합성가스 정제를 위하여 기본적으로 습식정제 또는 집진방법에 의해 합성가스를 깨끗하게 공급해줄 수도 있지만, 중소형 규모의 바이오매스계 폐기물의 에너지화 이용에서는 폐수처리 및 기타 후처리방식이 필요 없는 고온 수증기 개질 또는 촉매 수증기 개질법이 바람직하다고 할 수 있다. 가스엔진에 적용하기 위한 합성가스 중 타르 농도는 25mg/Nm³ 수준으로 유지되어야 하는 것으로 알려져 있다. 고온공기 가스화 연구는 이러한 맥락으로 수행되었으며, 타르 개질 조건을 추가실험을 통하여 도출하였다. Downdraft 가스화 장치는 합성가스 발열량이 다소 낮아지기는 하지만 타르가 고온의 연소영역을 통과함으로써 다른 방식보다 타르발생량을 줄일수 있는 장점이 있어서 분산용 발전에 적용하기 위한 실험을 수행하였다.⁽⁴⁾

본 방법은 산화제와 생성가스가 반응기 하단부로 흐르게 되어 있는 점을 제외하고는 updraft 가스화장치와 동일하다. updraft 가스화장치와의 차별성은 가스화후 발생하는 다량의 타르를 99.9%까지 제거할 수 있다는 것이다. 반면 본 장치를 이용하는 경우 낮은 수분함량(<20%)을 갖는 바이오매스에만 적용이 가능하며, 생성가스는 반응기 하단부로 흐르게 되어 약 800~1,200℃에서 char와 반응하여 합성가스(CO+H₂)를 생성한다. 본 장치의 장점으로는 가스화중에 발생하는 타르의 99.9%를 제거할 수 있어 추가적인 가스정제공정이 필요치 않으며, 중금속의 경우 반응기 하단부에서 ash와 같이 처리되어 후단의 집진설비의 부하를 줄일 수 있다는 것이다. 또한 updraft 가스화장치와 같이 공정이 단순하고 초기투자비가 적으며 잘 알려진 기술로 분류될 수 있다. 반면 단점으로는 저 수분함량(<20%)의 연료만 사용이 가능하며, 반응기의 온도가 높아 추가적인 열회수장치가 필요하고, 4~7%의 탄소 성분이 미연분으로 배출되어 탄소전환율이 낮은 단점을 갖고 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시료

실험용으로 3~5cm 크기의 선별된 우드칩을 연료로 사용하였다. 가스화 실험을 위해서 시료의 사전 전처리, 유틸리티 확인, 시스템 예열, 가스화 실험, 운전정지 순서로 이루어진다. 시료 분석 자료는 아래 표 1과 같다.

Table 1 우드칩의 원소, 공업, 발열량분석

		Woodchip
Calorific value (kcal/kg)		4,130
Proximate analysis (wt.%)	Moisture	21.67
	Volatile matter	60.14
	Fixed carbon	14.34
	Ash	3.85
Ultimate analysis (wt.%)	C	46.53
	H	5.75
	N	0.25
	S	0.11
	O	43.51

2.2 실험장치

본 가스화 장치의 특징은 목질계 바이오매스를 이용한 합성가스 제조 장치에 관한 것으로 일반적으로 하부에서 공기를 유입하는 것과는 반대로 측면에서 공기를 유입하여 가스화제로 사용하고 하부의 그레이트에서 회재를 분리하여 합성가스를 제조하는 특징을 지니고 있다. 즉, 일반적으로 하부에서 공기를 유입하는 것과는 반대로 측면에서 공기를 유입하여 가스화제로 사용하고 하부의 그레이트에서 회재를 분리하여 합성가스를 제조하는 것으로 바이오매스를 연소부로 공급하기 위한 호퍼, 상기 호퍼의 하단에 위치하여 상기 호퍼로부터 공급되는 바이오매스가 연소되는 연소부, 상기 연소부 측면으로부터 가스화용 공기를 주입하는 공기 주입부, 바이오매스의 연소 및 가스화 작용에 의해 생성된 가스가 배출되는 가스 배출구 및 상기 연소부 하단에 위치하며 가스화 반응 후 생성되는 재 성분을 처리하는 회재 처리부를 포함하여 구성된다.

그림1은 저타르 배출형 바이오매스 가스화 시스템을 도시한 구성도이다. 바이오매스 가스화 시스템의 동작을 설명하면, 파쇄 처리된 바이오매스가 벨트 컨베이어에 의해 호퍼로 이송되고, 이송되는 주기는 호퍼내에 설치된 레벨 측정용 광센서 작동에 의해 연동되어진다.

바이오매스 호퍼로부터 낙하하는 부위에서 연소영역을 형성시키되 이 부분에서 적절하게 종래

대비 40~70% 수준의 좁은 가스화기 유로를 만들고 측면에서 가스화용 공기를 공기주입 노즐을 통해 공급하는 방식으로 균일한 혼합, 연소과정을 유도하였다. 바이오매스와 공기의 혼합비를 균일하게 유지하기 위하여 반응기에 직경이 작은 부분을 형성하게 하고 이 부분으로 공기를 유입하게 된다.

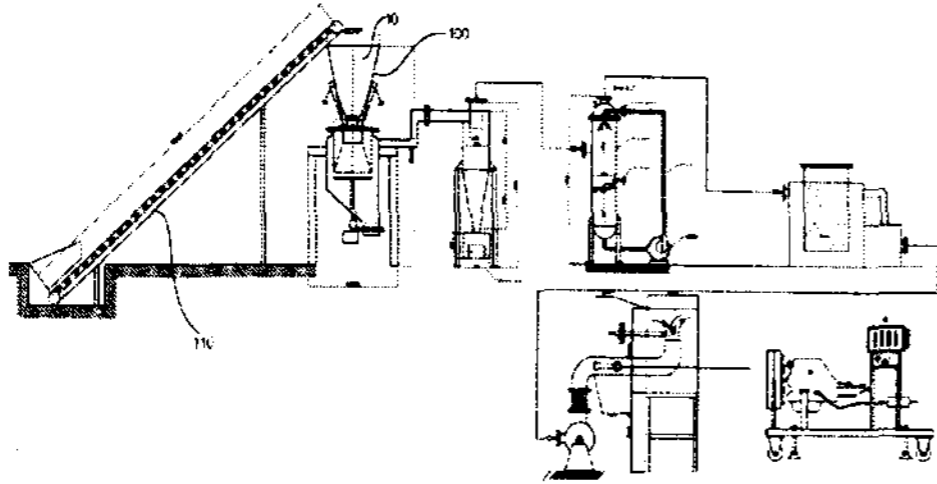


Fig. 1 하향류식 가스화 발전 시스템 개략도

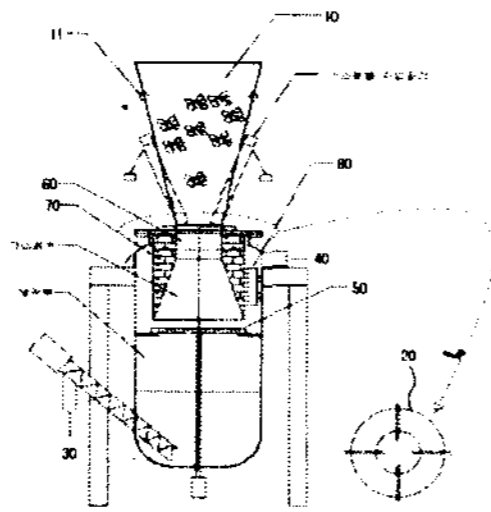


Fig. 2 하향류식 가스화기 개략도

2.3 실험방법

호퍼로부터 낙하하는 바이오매스는 연소부의 화염에 의해 건조 또는 부분분해가 이루어지고 이물질은 상기 연소부에서 다시 혼합되어진다. 이때 타르 발생을 적게 하도록 바이오매스와 공기의 흐름을 상부에서 하부로 동일하게 유지하여, 발생된 타르가 고온의 연소부에서 분해되도록 유도한다.

연소후 생성된 차르와 고온의 연소가스는 하부로 같이 이동하면서 가스화 되며, 연소가스는 단열층에 의해 가스화를 위한 온도를 유지할 수 있게 된다. 가스화 반응에 의해 남게 되는 재(ash)성분은 그레이트를 통해 하부로 떨어져 물에 의해 직접 냉각되어진 후 회재 회수부를 통해 회수된다. 본 실험에서 수행된 실험조건은 공급량은 60kg/h, 온도는 연소부를 기준시 1200℃를 유지하였다.

가스화 및 수증기 개질 시스템에서 정상운전 조건은 표2와 같이 유지하였다.

Table 2 가스화 운전조건

Component Name	Operation Conditions
Wood Chip Feed Rate	30~60 (kg/h)
Air Feed Rate	30~250 (Nm ³ /h)
Gasifier Temperature (middle)	700~1,000 °C
Gasifier Temperature (bottom)	850~1,100 °C

3. 실험결과

가스화기 내부의 온도는 char 연소영역 및 휘발분 연소 영역에서 측정하였다. char 연소영역에서는 온도가 휘발분 연소영역에서 가스화되는 온도보다 다소 낮게 나타났다. 본 실험에서는 가스화부 온도가 750~900℃, 휘발분이 연소되는 가스화부에서는 850~1,100℃ 수준으로 나타났다.

공급된 우드칩의 조성파 제조된 합성가스 조성을 하기 표 4에 나타내었으며, 공기량 공급비(O₂/바이오매스 무게비)에 따라 CO₂ 발생량이 증가하여 발열량은 감소하는 경향을 보이는데, 측정결과는 그림3과 같이 나타났다.

Table 3 가스화기 온도분포

O ₂ /biomass (wt./wt.)	반응온도(°C)		
	Char연소부	휘발분 연소 및 가스화부	출구
0.33	905	974	558
0.66	980	1139	592
0.66	965	1028	576
0.66	850	910	566
0.86	781	860	543
0.86	790	890	540
1.00	784	863	550
1.16	785	870	527
1.16	800	895	570
1.33	930	1009	571

Table 4 합성가스 조성

O ₂ /biomass (wt./wt.)	합성가스 조성(vol.%)					HHV (kcal /Nm ³)
	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂	O ₂	
0.33	15.3	19.8	4.0	18.7	0.4	1335.4
0.66	18.3	16.5	3.4	17.3	0.4	1329.8
0.66	19.4	14.4	1.8	14.6	0.4	1143.1
0.66	18.4	15.9	2.9	14.7	0.4	1207.8
0.86	19.3	19.9	5.7	7.5	0.3	1281.1
0.86	13.3	20.3	4.6	16.8	0.5	1282.8
1.00	17.3	16.0	2.2	14.5	0.4	1117.6
1.16	18.3	14.1	1.4	12.6	0.3	1018.1
1.16	17.3	15.8	2.1	14.4	0.4	1103.6
1.33	17.3	16.4	2.7	14.7	0.4	1168.6

후 기

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지기술 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] VTT Technical Research Centre of Finland, "Review of Finish biomass gasification technologies", OPET Report4, 2002.
- [2] Knoef, H. A. M., "Handbook Biomass Gasification", Gasnet, 2005.
- [3] Thomas B. R. and Agua D., "Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System", The Biomass Energy Foundation Press, 1998.
- [4] Kurkela, E., Simell, P., Stålberg, P., Berna, G., Barbagli, F. and Haavisto, I. "Development of novel fixed-bed gasification for biomass residues and agrobiowues", Espoo, VTT Research Notes 2059. 42 p.+5app, 2000.

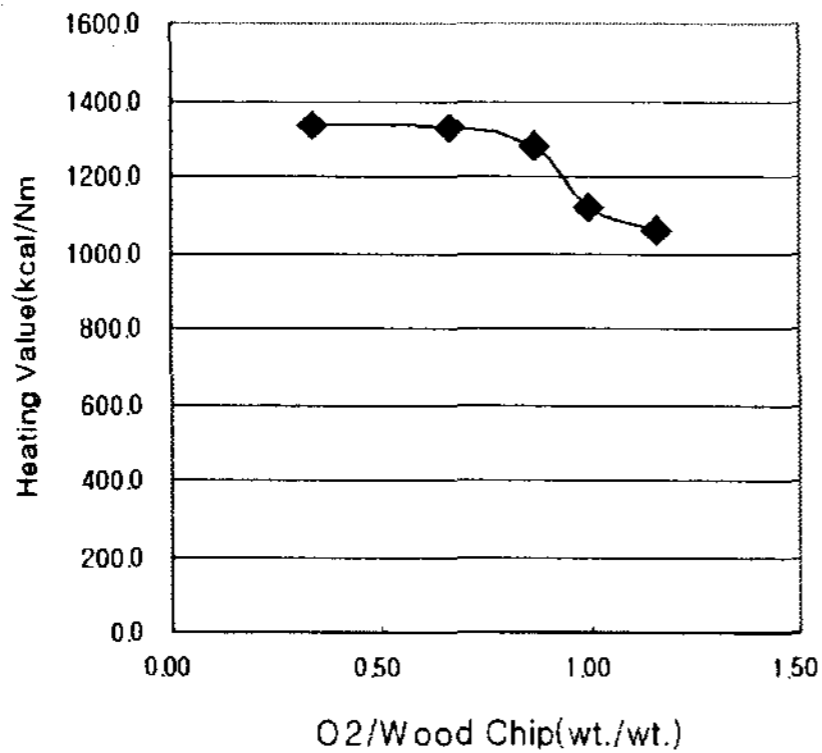


Fig. 3 합성가스 발열량

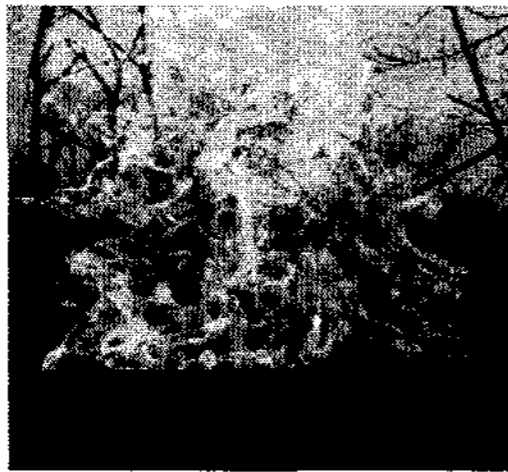


Fig. 4 합성가스 연소 사진

60kg/h 수준으로 우드칩을 공급하면 125~132 Nm³/h 정도의 합성가스를 제조할 수 있었다. 본 가스화 장치에 의한 타르 발생량은 일반적인 목초 제조액 공정의 경우 10~30% 수준보다 훨씬 낮은 5~15ppm 수준으로 개질반응기나 정제과정에서 제거하면 가스엔진에서 이용이 가능한 수준임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 공기와 연료가 위에서 아래의 같은 방향으로 흐르게 하여 저타르 발생을 유도하는 하향류식 고정층 가스화기를 이용하여 목질계 바이오매스의 가스화 특성을 살펴보았다. 가스화기의 온도는 1000℃ 내외로 운전이 가능하였으며, 공기량 공급비에 따라 다양한 합성가스 조성을 얻을 수 있었는데, 각각의 조성에 따른 합성가스 발열량을 계산하면 공기량이 증가함에 따라 가스화가 아닌 연소분위기로 인하여 CO₂의 생성량이 증가하여 발열량이 감소함을 확인하였다. 기존의 상향류식 바이오매스 가스화기에서 발생하는 10~30% 정도의 타르 발생량에 비하여 본 연구에서 적용된 하향류식 가스화기에서는 대략 5~15ppm 수준으로 가스화 전환율을 향상시켜 주었다.