

바이오매스 가스화장치를 이용한 합성가스 생산에 있어서 연료조건의 영향

Effects of Biomass Fuel Conditions on Biomass Gasification

홍 성 구*

Hong, Seong gu

Abstract

A downdraft gasifier was made of stainless steel for biomass gasification. Internal reactor had a 300 mm diameter and 8 air intakes. Three thermocouples were installed to measure the temperature inside the reactor. Three different biomass fuels were provided in the experiments to find out the effects of fuel conditions on gasification processes; charcoals, woodchips, and mixture of woodchip and charcoals. Two different experiments were conducted for charcoal experiments, small and larger sizes of charcoal fuels. It took about 10 minutes after ignition to generate combustible producer gas when charcoal was fed, but 20 or more minutes for woodchips. When the gasification was stabilized, the highest temperature was observed just below the combustion zone. The air flow rate for woodchip experiment was provided at 25% of a stoichiometric requirement of combustion, which was within the range of typical air flow rate for woody biomass gasification. Carbon monoxide concentrations were also within the values reported in the previous studies, ranging 20 to 30% depending on fuel types. It could be seen that fuel size and heating value were very important parameters in biomass gasification. These parameters should be taken into account in operating and designing biomass gasifiers.

Keywords : Biomass gasification, Downdraft gasifier, Biomass fuel, Charcoal gasification

I. 서 론

가장 유망한 재생에너지 자원의 한가지로서 바이오매스는 아직까지 국내에서 그 활용도가 높지 않

다. 바이오에너지는 장기적이고 안정적으로 공급이 가능하며, 환경개선, 온실가스 배출저감 등을 꾀할 수 있다(Bridgwater, 1995). 특히 국내 여건을 살펴볼 때, 한계농지나 휴경지에서 에너지 작물을 생산한다면 추가의 바이오매스 자원 공급이 가능하다. 바이오매스를 이용한 에너지활용 기술 가운데 가스화 기술은 최근들어 유럽의 여러 국가에서 본격적으로 상용화 되기 시작하였다. 물론 1차대전

* 한경대학교 지역자원시스템공학과
* Corresponding author. Tel.: +82-31-670-5134
Fax: +82-31-674-4119
E-mail address: bb9@hknu.ac.kr

당시 바이오매스 가스화기술을 활용한 목탄차의 보급이 이루어진 바 있으나 저가의 석유공급으로 곧 사라진 이후 최근에 지구온난화 문제 등의 해결을 위한 방안의 하나로써 관심이 높아지고 있다. 가스화(Gasification)는 고체연료를 산소가 충분치 않은 조건에서 연소하여 CO와 H₂가 주 성분인 합성가스(Synthetic gas)를 생산하는 열화학적 변환기술이다. 석탄의 가스화기술은 오래 전부터 대규모 설비로 상용화된 바 있다. 가스화공정은 크게 고정상(Fixed bed)과 유동상(Fluidized bed)으로 나눌 수 있다. 고정상 가스화는 최근 이동상(moving bed) 가스화라고도 불리기도 한다. 고정상 가스화 공정 가운데 하향식 가스화는 연료의 흐름과 공기 및 가스의 흐름이 아래쪽으로 향하는 방식이다. 하향식 가스화장치에서 생산되는 합성가스는 타르의 함량이 상대적으로 가장 적기 때문에 엔진 적용과 같은 내연기관에 적용할 수 있다.

하향식 가스화장치는 상대적으로 구조가 단순하여 제작하기 용이하다. 목질계 및 숯과 같은 일부 바이오매스 연료에 대해서 안정적인 합성가스 생산이 확인된 바 있다. 반면에 하향식 가스화장치가 요구하는 연료 조건은 비교적 까다롭다. 주요 연료 조건에는 함수비, 입도 등이 있다. 고온에서 작동하기 때문에 회분이 용융되어 문제를 일으킬 수 있으며 배출되는 합성가스의 온도가 높다. 가스화 최대 능력은 시간당 약 0.5톤 정도로서 대규모 시설로는 적합하지 않은 단점이 있다(Bridgwater, 1995).

최근의 가스화 및 합성가스의 활용과 관련된 연구는 보다 효율적인 가스화 장치의 개발, 가스엔진의 적용, 타르 저감기술, 가스정제 등 다양하게 이루어지고 있다. 성공적인 실용화 사례로서는 수십 MW_{th} 규모의 가스화-발전 설비에서 농촌지역의 100 kW_e 이하의 소규모 설비에 이르기까지 다양하다(Babu, 2004). 대규모 설비의 기술개발 사례 가운데에는 축산분뇨, 하수처리장 슬러지, 폐목재 등을 통합하여 가스화하는 방식도 있다. 즉, 바이오매스 가스화 기술은 각종 바이오매스 연료를 활용

하여 유용한 에너지로 변환할 수 있는 무한한 가능성의 기술이라 할 수 있다.

미래 에너지로서 각광을 받고 있는 수소생산 및 연료전지 적용과 관련된 연구 또한 늘어가고 있다. 고온에서 작동하는 용융탄산염 연료전지(MCFC)와 고체산화물 연료전지(SOFC)는 다른 연료전지와는 달리 기체 연료 중의 CO에 의해 피독되지 않는다. 따라서 이들 연료전지는 고순도의 수소만을 분리 정제하는 과정 없이 불순물 제거만으로도 합성가스를 활용할 수 있다(Larminie and Dicks, 2003).

목질계 바이오매스를 연료로 이용하면 H₂가 20% 이상인 합성가스를 얻는 것이 가능하므로, 수소를 생산하는데 바이오매스 가스화는 매우 유용하다. 수소생산을 위한 바이오매스 가스화에 있어서 앞으로 해결해야 할 주요 과제들을 언급하였다(Babu, 2002). 그 중의 하나가 가스화에 적합하게 바이오매스 연료를 건조, 파쇄하는 등의 전처리 문제이다. 또한 태양광이나 풍력 등의 재생에너지와는 달리 바이오에너지는 연료가 지속적으로 공급되어야 한다. 바이오매스의 공급 비용은 수집과 운반 뿐만 아니라 건조 및 파쇄 등에 의한 비용도 고려되어야 한다. 안정적인 가스화공정을 위해서는 함수비를 낮추고 적당한 크기를 가져야 하기 때문이다.

본 연구에서는 하향식 가스화장치에서 과수원에서 발생되는 전정목을 탄화하여 얻은 숯(charcoal)과 목편을 이용하여 합성가스를 생산하고 가스화반응 특성을 분석하여 연료조건을 확립코자 하였다. 가스화 반응 온도변화와 합성가스 조성에 영향을 미치는 연료 입자의 크기, 함수비, 그리고 발열량 등을 중심으로 가스화 반응 특성을 분석하였다.

II. 바이오매스 연료조건

함수비는 가스화에 있어서 가장 중요한 연료조건 중의 하나이다. 연료 중의 함수비가 30% 이상이 되면 점화가 곤란하고 합성가스 중의 열량이 낮아지게 된다(McKendry, 2002). 연료 중의 수분은

연소 또는 가스화 직전에 증발되므로 이 과정에서 요구되는 열량만큼의 열손실이 발생한다고 볼 수 있다. 따라서 반응부의 온도를 저하시켜 열분해 영역에서 생성된 탄화수소의 분해(cracking)가 어렵게 된다. 물론 CO 존재 하에서 수분은 수성가스화 반응이 일어나 H₂가 생성되고 많은 양의 CH₄를 얻을 수 있으나 연료대비 합성가스의 열량을 보면 총 효율은 낮아지게 된다(McKendry, 2002).

연료 중의 회분함량 또한 가스화에 영향을 미치는 요인이다. 가스화 반응 온도는 연료 중의 회분 또는 금속성분의 용융점 이상인 경우가 있다. 이때 용융된 회분 또는 금속류는 연료의 흐름을 방해할 수 있다. 바이오매스 연료는 회분 함량이 5% 이하가 적당하다. 특히 연료 중에 알칼리 산화물이나 염이 있는 경우 특히 문제가 될 가능성이 높다.

연료의 입자 크기는 반응부(hearth zone) 직경의 10~20% 정도가 적당하다. 과도하게 큰 입자의 연료는 bridging 현상 즉, 빈 공간을 만들어 연료의 흐름을 중단시킨다. 크기가 너무 작은 연료 입자는 충분한 공극을 제공하지 못하기 때문에 원활하지 못한 공기와 가스의 흐름을 유발한다.

회분이나 연료 중에 포함되어 있는 알칼리성 금속 등은 바이오매스 고유의 성질로서 변화시키기는 쉽지 않다. 따라서 바이오매스 가스화공정에서 우선적으로 고려되어야 할 전처리과정은 연료를 충분히 건조하고 가스화 반응부에 적합한 크기로 파쇄하는 공정이라 할 수 있다. 석탄 가스화 공정에서는 연료의 단위 중량당 열량이 높고 함수비가 낮아 과도하게 높은 온도를 낮추기 위해서 수증기를 공기와 함께 주입하여 수성 가스화 반응을 유도한다. 즉, 연료가 충분히 건조되지 않아 함수비가 높은 경우 단위 중량당 열량이 높은 숯을 혼합하는 것도 대안이 될 수 있다. 물론 숯을 생산하는 경우 탄화 과정에서 열손실이 있으므로 종합적인 열수지와 비용 등을 고려하여야 한다.

III. 가스화 장치의 제작

본 연구를 위하여 직경 300 mm의 반응부를 갖는 가스화장치를 제작하였다. 연료의 흐름을 원활하게 하기 위하여 단순 원통형으로 설계하였다. 반응부 내부의 온도를 측정하기 위하여 바닥부로부터 60 mm, 200 mm, 300 mm의 지점에 각각 열전대(Type S)를 설치하였다. 기체 흐름에 대한 마찰 저항을 최소화하기 위하여 8개의 구멍을 통해서 공기의 주입과 합성가스의 배출이 이루어지도록 하였다. 송풍량은 최대 측정유량 1,200 m³/h의 rotameter를 이용하여 측정하였다. 송풍기는 1.5 kW 원심형 송풍기(DTB-403, 3 Φ , 60Hz, 230/380V)를 이용하였다. 가스화장치의 재질은 모두 2 mm 두께의 스테인리스 스틸로 제작하였다(Hong, 2005).

반응부의 주 공기 유입부로부터 바닥 다공 받침대(wire mesh)까지의 길이는 300 mm로 하였고, 직경 2 mm의 보조 유입부는 주 유입부로부터 170 mm 아래에 위치하였다. 가스화장치는 3중 원형관으로 구성하였다. 내측은 바이오매스연료 저장 및 반응부로, 내측관과 중앙부관은 상부에서 아래로 향하면서 온도가 상승될 수 있도록 제작한 공기 공급관이다. 중앙부관과 최외측관은 반응부에서 배

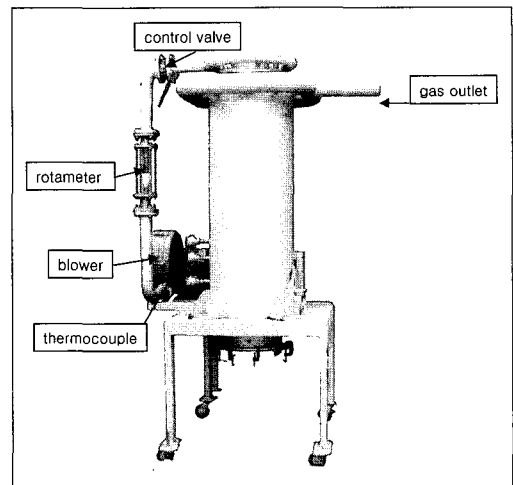


Fig. 1 Downdraft gasifier constructed for this study

출되는 합성가스가 상부 배출관으로 이동하면서 반응부의 열손실이 간접적으로 일어나도록 하였다. 외측을 포함한 가스화장치에서 단열은 고려하지 않았다. 반응부 아래에 위치하는 다공 받침대는 착탈이 가능토록하여 가스화실험 종료 후 남은 미반응 잔류물을 제거할 수 있도록 하였다. Fig. 1은 본 연구를 위해서 제작한 하향식 가스화장치를 보여주고 있다.

IV. 실험 조건 및 방법

가스화 실험을 위한 목편은 강원도 홍천시 소재 S임산에서 구매하였다. 두께 1 cm 내외, 길이 3~5 cm 크기의 목편은 건조되지 않은 상태로 구입하였으며, 실험 전에 실내에서 건조하였다. 또다른 가스화 연료는 배나무 전지목을 탄화하여 얻은 숯으로서 길이 방향으로 2~3 cm 이하와 이상의 2가지로 분류하여 실험에 이용하였다. 탄화에 의한 숯의 수율을 산정하기 위해서 탄화 전후의 중량을 측정하였다. 가스화 실험 직전에 함수비 측정을 위한 시료를 채취하였다. 함수비는 105 °C의 건조 오븐에서 24시간 건조하여 측정하였다.

가스화 실험 중에 측정한 항목은 송풍량, 위치별 온도, 합성가스 중 CO와 CO₂ 농도이며, 합성가스의 점화 및 연소상태는 육안으로 확인하였다. 송풍량은 연소상태를 고려하면서 임의로 조정하였다. 합

성가스의 성분 분석은 검지관(Gastech사)을 이용하여 측정하였다.

V. 결과 및 분석

1. 송풍량 및 반응시간

실험 종료시점까지 누가 송풍량과 바이오매스 연료 중량당 누가 송풍량은 Table 2와 같다. 단위중량당 반응시간은 숯에 비해서 목편을 이용한 실험이 길었다. 이는 단위 중량당 송풍량으로 나타낼 수 있다. 실험에 이용된 바이오매스 연료량이 목편이 많았음에도 불구하고 목편을 이용하였을 때의 단위 중량당 송풍량은 적었다. 송풍량은 합성가스의 상태를 보면서 조정하였기 때문이다. Exp. #3과 #4에서는 초기에 황백색 연기가 다량 발생하여 가스화가 정상적으로 진행되지 않았다. 반응속도를 높이기 위해서 송풍량을 1,000 또는 1,500 l/min 까지 올리기도 하였으나 이 후에는 500~800 l/min 정도로 낮추어 가동하였다. 목편을 이용하였을 때의 단위중량당 송풍량은 1.5 m³/kg 내외로서 숯을 연료로 할 때에 비해서 다소 적었다. 본 연구에서는 바이오매스 연료 조건의 영향을 중심으로 보았기 때문에 동일한 바이오매스 연료 조건에서 송풍량 등의 운전조건과 관련된 가스화 반응특성을 파악하기 위해서는 추가의 실험적 연구가 필요할 것이다.

목질계 바이오매스를 완전 연소하는데 필요한 이

Table 1 Biomass fuel characteristics for gasification experiments

| Experiment # | Fuel type | Size | Moisture content* (%) |
|--------------|-------------------------------------|----------|-----------------------|
| Exp. #1 | Charcoal 1 | < 2~3 cm | 6.98 |
| Exp. #2 | Charcoal 2 | > 2~3 cm | 7.52 |
| Exp. #3 | Woodchip | 2~3 cm | 14.75 |
| Exp. #4 | Charcoal + woodchip (1:1 by volume) | 3~5 cm | 32.16 |

* wet base

Table 2 Total air flow for the experiments.

| Experiment # | Weight (kg) | Reaction time and rate | | Acc. Air flow (m ³) | Unit air flow (m ³ /kg) |
|--------------|-------------|------------------------|--------|---------------------------------|------------------------------------|
| | | (min) | (kg/h) | | |
| Exp. #1 | 13.9 | 44 | 19.0 | 33.9 | 2.4 |
| Exp. #2 | 10.6 | 56 | 11.4 | 33.4 | 3.1 |
| Exp. #3 | 17.2 | 45 | 22.9 | 22.3 | 1.3 |
| Exp. #4 | 25.35 | 58 | 26.2 | 43.4 | 1.7 |

론적 공기량은 약 $5.22 \text{ m}^3/\text{kg}$ 이며, 가스화를 위한 적정 공기량은 연소에 필요한 공기량의 19~43%에 지나지 않는다(Zainal et al., 2002). Exp. #3에서 목편 단위중량당 공급된 공기량은 $1.3 \text{ m}^3/\text{kg}$ 으로서 연소에 필요한 공기량의 24.9%였다. Exp. #1과 #2는 숯을 적용하였기 때문에 목질계 바이오매스를 가스화하기 위한 공기량보다 많은 46~59% 범위에서도 안정적인 가스화 반응이 가능하였다. 연료 입자크기가 약간 작은 Exp. #1에서 가스화 반응속도가 더 높게 나타났다. 단위 중량당 송풍량이 적었음에도 불구하고 단위시간 당 가스화 속도는 Exp. #1이 19.0 kg/h 로 약간 높다.

2. 온도 변화

양호한 연소상태가 일정시간 경과된 후 점화가

되지 않는 상태로 되는 시간을 실험 종료시점으로 보았다. 실험 종료 후 가스화장치 반응부 바닥에는 그때까지 반응되지 않고 남아있는 연료를 확인할 수 있었다. Fig. 2는 4가지 가스화 실험 중 위치별 온도변화를 보여주고 있다. 점화 후 가스화반응이 일어나고 배출되는 합성가스가 점화되어 안정적으로 연소될 수 있는 시기까지는 숯을 연료로 했을 때 약 10여분, 목편을 이용할 때 20여분 정도 소요되었다.

바닥에서 가스화를 위한 점화가 이루어졌기 때문에 초기에는 바닥부의 온도가 가장 높다가 이후에 중앙부의 온도가 가장 높게 되는 양상을 보였다. 공기의 유입으로 연소반응이 일어나고 연소반응에 의해 발생된 가연성 가스의 연소와 숯의 연소가 동시에 일어나는 공기 유입부의 온도가 가장 높게 나타났다. 이러한 온도분포는 4가지 실험에서 공통적

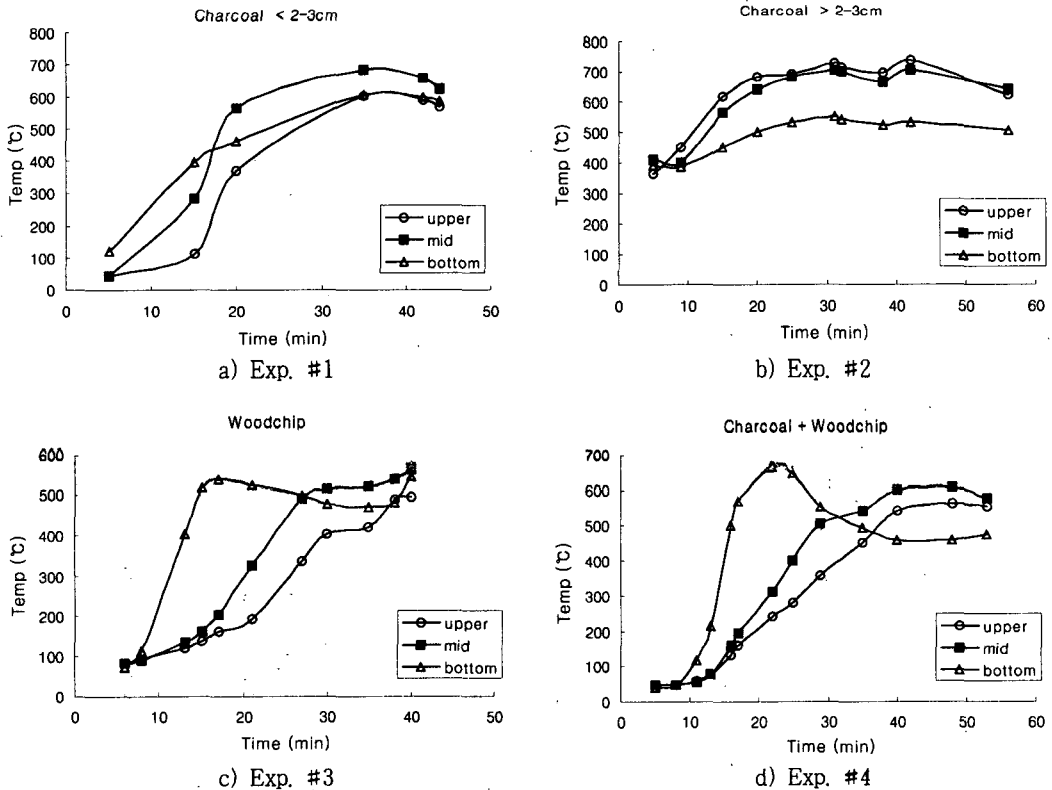


Fig 2 Temporal changes in temperature for different fuel conditions

으로 관찰되었다. 반응부 바닥에서 약 60 mm 상부에 위치하는 하단부 온도측점의 경우 외부로의 열손실 뿐만 아니라 흡열반응에 의해 온도가 상대적으로 낮은 것으로 보인다. 가장 안정적인 반응은 중앙부의 온도가 상대적으로 가장 높은 상태에서 일어났다. Exp. #2에서는 30여분이 경과한 후 송풍량을 1,000 l/min에서 250~500 l/min으로 낮춘 결과 온도가 약간 하강하는 것을 관찰할 수 있었다. 이 후에 다시 1,000 l/min으로 올려주었을 때에 온도는 다시 회복되었다. Exp. #2에서 실험초기에도 온도가 높은 것은 선행 실험에 의해서 반응부가 충분히 식지 않았기 때문이다.

목편이 투입된 Exp. #3과 #4에서는 합성가스 연소상태를 기준으로 볼 때, 가스화 반응이 정상적으로 이루어질 때까지 하층부에서의 온도가 가장 높게 나타났다. 가스화 반응이 본격적으로 일어나는 시기는 중앙부의 온도가 상부와 하층부에 비해서 높음을 알 수 있다. 바이오매스의 종류에 관계없이 하층과 공기 주입구 사이 중앙부의 온도가 약 600 °C 이상으로 되어야 가스화 반응이 안정적이었다.

3. 가스 조성

CO 농도는 점화 후 시간에 따라서 증가하는 경향을 공통적으로 볼 수 있다(Fig 3). Exp. #1, #2, #4에서는 CO의 농도가 최고 25% 이상으로 나타났으나, Exp. #3에서는 CO 농도가 최고 20% 내외 수준으로 나타났다. CO₂ 농도는 목편이 연료 중에 포함되었을 때 상대적으로 높은 8% 수준으로 나타났다. 반면에 숯만을 가스화했을 때에는 2% 내외의 아주 낮은 CO₂ 농도를 보였다. 목편과 수분이 포함된 연료로부터 얻어지는 합성가스 중에는 H₂가 일정량 포함된다. 본 연구에서는 H₂의 분석이 이루어지지 않았으나 Exp. #3에서는 CO량에 대등한 양의 H₂가 포함되었을 것으로 판단된다.

Zainal et al.(2002)의 실험결과에서는 목질계 바이오매스를 가스화하였을 때 송풍량 조건에 따라

서 그 조성이 변화하나, 합성가스 중의 O₂는 1.5~4%, CO 21~25%, N₂ 44~46%, CO₂ 12~16%, H₂ 12~15%, CH₄가 2% 내외로 나타남을 보인 바 있다. 숯을 연료로 하여 얻어지는 합성가스 중 CO가 30% 정도에 이르고, H₂가 4% 미만이다(Wereko-Brobby and Hagen, 1998). 본 연구에서 측정된 CO와 CO₂ 농도는 이들 범위 내에 있음을 확인할 수 있다.

반응이 안정화된 후 CO 농도는 Exp. #2보다 #1에서 더 높게 나타났다. Exp. #1에서는 연료입자가 #2에 비해 약간 작은 3 cm 이하로서 단위중량당 송풍량이 2.4 m³/kg 또한 적었다. 연료입자의 크기는 압력손실에 영향을 미칠 뿐만 아니라 열분해층과 연소층에서 생성된 가스가 환원층에서의 접촉시간과 관계되므로 송풍량과 같은 운전조건 결정

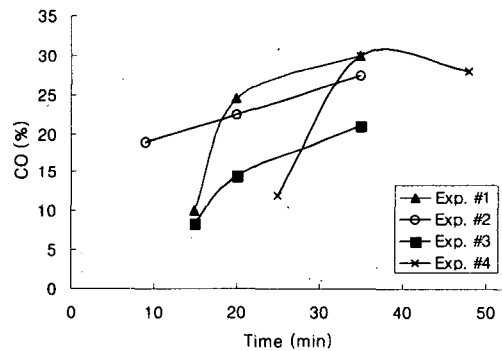


Fig 3 CO concentration changes for different fuel types

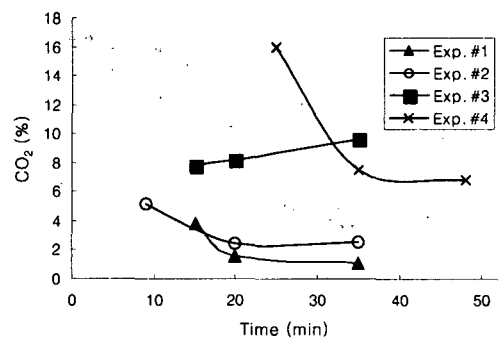


Fig 4 CO₂ concentration changes for different fuel types



Fig 5 Combustion of the producer gas from wood-chip and charcoal (Exp. #4)

에 반영되어야 할 것이다. 동일한 송풍량에서도 연료 입자의 크기에 따라서 공극을 통과하는 속도가 다르게 되고 따라서 환원율에 영향을 미치기 때문이다.

CO 농도만을 보았을 때 Exp. #1과 #2가 상대적으로 안정된 가스화 반응을 보여주고 있음을 알 수 있다(Fig. 3). Exp. #2에서는 CO 농도가 점화 후 10분 이내에 20% 정도로 높은 탄소 전환율을 보여주고 있으며 지속적인 농도상승을 나타내고 있었다. Exp. #1에서는 CO의 초기 농도가 낮았으나 20분 정도 경과 후에는 Exp. #2보다 높아졌다. 또한 20여분 경과 후에 CO₂의 농도가 Exp. #1에서는 2% 미만으로 유지되었다. 합성가스의 조성을 기준으로 가스화 반응은 Exp. #1이 더 양호하다고 판단할 수 있다. 가스화를 위해 투입된 연료의 양은 Exp. #1이 더 많았음에도 불구하고 거의 동일한 송풍량 조건하에서 실험 종료까지의 시간은 약간 짧았다. Fig 5는 목편과 숯을 혼합한 연료를 이용하여 얻어지는 합성가스가 연소되는 모습을 보여주고 있다. 합성가스 중에 포함된 CO는 유독성 가스이므로 현장에서 연소될 수 있도록 하였다. 가

스연소를 위한 점화는 휴대용 토치를 이용하였다.

4. 연료의 전처리 방안

바이오매스의 가스화시설의 성공적인 도입과 운영에 있어서 가장 중요한 요인 중의 하나는 안정적인 경제적인 연료의 공급이다. 가스화장치가 설치된 후 바이오매스 연료가 지속적으로 공급되어야 하기 때문이다. 충분한 양의 부존량과 경제적인 수집 및 공급체계가 갖추어져 있다하더라도 가스화에 적합하도록 전처리하는 것이 중요하다. 하향식 가스화장치에서는 연료의 함수비와 입자의 크기가 반응에 크게 영향을 미치므로, 건조 전 바이오매스의 함수비는 30~50% 수준으로 건조해야하고, 반응부의 직경에 따라서 연료 입자의 크기가 다를 수 있으나 1.5~5 cm의 크기로 파쇄해야 할 것이다.

연료를 건조하는데 있어서 가스화과정 또는 배출되는 합성가스의 열을 이용하여 연료를 건조하는 방법이 다양하게 제시되고 있다. 반면에 적절한 크기의 연료로 파쇄하는 과정은 추가의 동력, 즉 비용이 발생하게 된다. Y사의 180PS(14t/h 처리능력) 규모의 파쇄기는 실험결과 8 kcal/kg의 동력을 필요로 하는 것으로 나타났다. 잔가지와 같은 바이오매스의 경우 파쇄 후 섬유상 표피가 생성되어 연료의 흐름에 지장을 초래할 수도 있다. 전정목과 같은 잔가지는 탄화하여 연료로 투입하는 것을 또 다른 전처리공정으로 고려할 수 있다. 본 연구에서는 별도의 실험을 통해서 목질계 바이오매스를 탄화하여 숯으로 만들게 되면 중량으로 약 20% 정도, 열량으로 볼 때에는 약 40% 정도가 회수됨을 알 수 있었다. 즉, 탄화에 의해 바이오매스 연료를 전처리할 때 연료가 가지는 열량의 약 60%가 손실되나, 파쇄를 위한 별도의 비용이 거의 들지 않고 함수비가 아주 낮아진다는 장점이 있다. 직경이 큰 연료는 파쇄를 하고, 직경이 작은 연료는 탄화를 하여 탄화과정에서 발생하는 열을 이용하여 파쇄된 연료를 건조하는 전처리 계통을 제안할 수 있

다. 또한 탄화에 의해 얻어진 숯은 일정 비율로 파쇄목과 혼합하여 가스화장치에 투입한다면 단위 중량당 열량이 개선되어 가스화 반응에 유리하다.

VI. 요약 및 결론

반응부 직경 300 mm의 하향식 가스화장치를 제작하여 목편과 숯을 연료로 하여 가스화 반응특성에 대해 분석하였다. 반응부의 위치별 온도변화, 합성가스 중 CO와 CO₂ 농도 등을 살펴본 결과 기존 연구결과와 유사한 조성을 나타냈다. 단위중량 당 열량이 높은 숯을 연료로 하였을 때 합성가스의 생산이 초기에 안정적으로 이루어졌으며, 가스의 연소상태 또한 상대적으로 양호하였다. 목편 또는 목편과 숯을 혼합하였을 때에는 가스의 조성이나 온도 등을 기준으로 안정적인 가스화 반응이 일어날 때까지 20여분 이상의 시간이 소요되었다. 하향식 가스화장치에서 가스화 반응에 영향을 미치는 연료조건의 영향을 파악하기 위해 수행된 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

목편이나 목편과 숯을 혼합한 연료를 가스화하는데 공급된 공기량은 연소에 필요한 이론적 공기 요구량의 24.9%와 32.6%로서, 점화가 이루어진 하단부에서 온도의 상승이 급격하게 이루어져 최고 550~650 °C까지 이르렀다.

연료의 종류에 관계없이 안정적인 가스화 반응이 일어나는 시기에는 공기 주입부에 위치한 연소부 바로 아래에서의 온도가 가장 높게 나타났으며, 하단부에서는 흡열반응 및 열손실로 인해 가장 낮게 나타났다.

단위중량당 열량이 높은 숯을 연료로 하였을 때 점화 후 10분 경에 가스화 반응이 안정적으로 이루어졌으며, 최고 온도는 700 °C까지 상승하였다.

연료 입자의 크기는 동일한 송풍량 조건하에서도 연료 공극을 통과하는 가스의 속도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

입도의 크기나 송풍량의 영향이 크지 않다고 가

정하면 연료의 단위중량당 열량이 가스화 반응에 중요한 요인의 하나로 판단된다. 저위발열량을 기준으로 볼 때 함수비가 높은 연료는 단위중량당 열량이 낮으므로 불리하다는 것을 알 수 있다.

합성가스의 조성은 기존 연구결과와 대등한 수준으로 나타났으나, 목편을 연료로 하였을 때 백황색의 합성가스가 얻어져 환원반응이 충분히 일어나지 않았다고 판단된다. 따라서 단위중량당 열량이 상대적으로 낮은 연료를 가스화할 때에는 반응부의 충분한 온도를 유지할 수 있도록 단열 등의 보완이 필요하다고 판단된다.

가스화를 위한 바이오매스 연료의 입경이나 함수비 등은 가스화 반응에 영향을 미칠 뿐만 아니라 송풍량 등 운전조건과도 관계가 있으므로 가스화장치의 설계 또한 연료의 특성을 고려하여 이루어져야 한다.

References

1. Babu, S. P. 2002. Biomass gasification for hydrogen production process description and research needs. IEA Bioenergy: Task 33 - Thermal Gasification of Biomass (<http://www.gastechnology.org>)
2. Babu, S. P. 2004. Status of and prospects for biomass gasification. IEA Bioenergy: Task 33 - Thermal Gasification of Biomass (<http://www.gastechnology.org>)
3. Bridgwater, A. V. 1995. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. Fuel 74(5): 631-653.
4. Hong, S. G., S. K. Kwun. 2005. Optimum Use of Agricultural Biomass in Rural Area. Ministry of Agriculture and Forest, Republic of Korea. (in Korean)
5. Larminie, J. and A. Dicks. 2003. Fuel Cell Systems Explained. John and Wiley Sons Ltd.
6. McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 3): Gasification technologies.

- Bioresource Technology 83: 55–63.
7. Wereko-Brobby, C. Y. and E. B. Hagen. 1998. Biomass Conversion and Technology. John Wiley and Sons.
8. Zainal, Z. A., A. Rifau, G. A. Quadir, K. N. Seetharamu. 2002. Experimental investigation of a downdraft biomass gasifier. Biomass and Bioenergy 23: 283–289.