

## 上部溫度와 空氣比 變化에 따른 廢木材의 二段 流動層가스화<sup>†</sup>

文太永 · 金鎮五 · 金鎮元 · <sup>‡</sup>金周植

서울市立大學校 環境工學部 및 都市環境시스템工學科

## Gasification of Woody Waste in a Two-Stage Fluidized Bed Varying the Upper-reactor Temperature and Equivalence Ratio<sup>†</sup>

Tae-Young Mun, Jin-O Kim, Jin-Won Kim and <sup>‡</sup>Joo-Sik Kim

Faculty of Environmental Engineering and Urban Environment System Engineering,  
University of Seoul, 90, Jeonnong-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul 130-743, Korea

### 요 약

폐목재의 가스화에서는 타르의 생성을 동반하는 데, 이 때 발생하는 타르는 관막힘, 장치의 fouling 등의 많은 문제를 일으킨다. 본 실험에서는 타르의 저감을 위해 이중 가스화기의 상부반응기에 활성탄을 첨가하였고 상부반응기 온도와 equivalence ratio 변화에 따른 producer gas의 특성(조성, 타르 함량, 저위발열량)을 고찰하였다. 상부반응기의 온도변화에 따른 영향을 고찰하기 위해서 743, 793, 838°C에서 실험을 수행하였으며, equivalence ratio의 영향을 알아보고자 추가적으로 equivalence ratio를 0.17로 변화시켜 비교실험을 하였다. 모든 실험에서 생성된 producer gas 내의 타르함량은 2 mg/Nm<sup>3</sup> 이하로 매우 적었고, producer gas의 최대 저위발열량(LHV)은 약 10 MJ/Nm<sup>3</sup> 이상으로 전형적인 air가스화의 저위발열량(3~6 MJ/Nm<sup>3</sup>)보다 높은 값을 나타내었다.

주제어 : 폐목재, 상부반응기 온도, 공기비, 타르, 프로듀서 가스

### Abstract

During the biomass gasification, tar generation is typically accompanied, which causes many problems, such as pipe plugging and equipment fouling. In the experiments, activated carbon was applied to the upper reactor of the two-stage gasifier in order to remove the tar generated during gasification. In addition, the effects of the upper-reactor temperature and equivalence ratio on the producer gas characteristics (composition, tar content and lower heating value) were investigated. To investigate the effect of the upper reactor-temperature, experiments were performed at 743, 793, 838°C, respectively. To examine the influence of the equivalence ratio, a comparison experiment was carried out at a equivalence ratio of 0.17. In all experiments, tar contents in the producer gases were below 2 mg/Nm<sup>3</sup>. The maximum LHV of the producer gas was above 10 MJ/Nm<sup>3</sup>, which is much higher than the typical LHV(3~6 MJ/Nm<sup>3</sup>) in the air gasification of biomass.

Key words : Woody waste, Upper-reactor temperature, Equivalence ratio, Tar, Producer gas

### 1. 서 론

국내 폐목재 발생원은 숲 가꾸기 부산물, 임업폐기물, 도시고형폐기물, 산업폐기물, 건설폐기물 등으로 나뉘며, 그 발생량은 연 평균 약 5백만 톤으로 발생된 폐목재는

대부분 단순 소각, 매립, 퇴비화 등으로 처리되고 있다. 폐목재로부터 에너지를 회수하는 연구는 온실가스 감축과 재생에너지 활용이라는 관점에서 현재 선진국을 중심으로 활발히 진행되어지고 있다. 일반적으로 바이오매스로부터 에너지를 회수하는 방법에는 발효를 통한 생화학적 공정(bio-chemical process)과 열분해(pyrolysis), 가스화(gasification), 연소(combustion)등과 같은 열화학적 공정(thermo-chemical process)이 있다.<sup>1)</sup> 열화학 공

<sup>†</sup> 2009년 12월 28일 접수, 2010년 3월 10일 1차수정  
2010년 3월 31일 2차수정, 2010년 4월 5일 수리

<sup>‡</sup>E-mail: joosik@uos.ac.kr

정 중 연소는 폐열을 회수할 수는 있는 장점이 있지만, 1100°C 이상 고온에서의 운전에 따른 비용, 시료의 특성에 따른 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, 다이옥신 및 완전연소 후 많은 양의 CO<sub>2</sub>가 배출된다는 단점이 있다. 하지만, 가스화는 완전연소를 위한 공기비의 20~30%만을 필요로 하는 부분산화공정으로서 완전연소에 비해 비교적 낮은 온도인 600~800°C 정도에서 운전이 가능하며, 폐목재를 연소 가능한 가스(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> 등)로 전환할 수 있는 장점이 있다.<sup>2)</sup> 또한 공기투입량이 적기 때문에 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> 등의 배출이 완전연소보다 매우 적다. 하지만 바이오매스의 가스화 동안 발생하는 타르와 미세입자는 가스엔진 및 가스화기 등에 plugging과 fouling 등의 문제를 일으키기 때문에 반드시 처리해야 한다.<sup>3)</sup> 타르는 일반적으로 벤젠이상의 분자량을 가지는 화합물들로 정의되며 이러한 타르를 처리하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 첫째는 최적의 운전조건, 가스화기 설계 그리고 첨가물 등을 통한 가스화기 내부에서 처리하는 방법이며 다른 하나는 가스화기 외부에서 처리하는 방법으로 가스화 후 생성된 producer gas를 열적, 촉매로 크래킹하거나 scrubber 등을 이용하여 물리적으로 제거하는 방법이다.<sup>4)</sup> 후자의 경우, 전자보다 일반적으로 비용이 많이 들어가기 때문에 가스화기 내에서 간단하고 효율적으로 처리하는 방법에 대한 연구가 관심을 끌고 있다. 이번 연구는 본 연구실에서 개발한 새로운 이중유동층 가스화기를 이용하여 고발열량의 청정 producer gas를 생산하고자 하였다. 이를 위해 이중 유동층 가스화기의 상부반응기에 값싼 활성탄을 첨가하여 실험을 수행하였으며, 상부반응기의 온도와 equivalence ratio 변화에 따른 producer gas 특성(조성, 타르함량, 저위발열량)을 고찰하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 시료

본 실험에서 사용된 시료는 폐목재로서 펠릿을 제조

하는 업체로부터 공급받은 것으로 이중 유동층 가스화 장치에 투입하기 위해 파쇄기와 표준체를 이용하여 0.6~0.85 mm의 균일한 크기로 선별하여 500 g을 실험에 사용하였다. 시료의 특성을 확인하기 위해 사성분 분석(ASTM D3172)과 원소분석을 수행하였다. Table 1에서 나타내듯이, 폐목재의 86.8 wt%가 휘발성분이었으며 원소분석결과 탄소와 산소의 함량이 각각 48.2와 44.9 wt%로 대부분을 구성하고 있었다. 또한 원소분석 결과를 토대로 Dulong식에 대입하여 발열량을 구한 결과 16.3 MJ/kg임을 확인하였다.

### 2.2. 실험장치

본 연구에 사용된 가스화 장치는 이단 유동층 가스화 장치로서 시간당 1 kg의 폐목재를 처리할 수 있는 규모로 제작하였으며 가스화 공정도는 Fig. 1에 나타내었다. Silo는 폐목재가 저장된 공간이며 두 개의 screw feeder에 의해 폐목재가 하부반응기의 bed 안으로 일정하게 투입되도록 하였다. 이 때, 반응기 내부의 고온에 의한 시료의 변형을 막기 위해 water jacket를 이용하였다. 기존의 단일 유동층 반응기와 달리 본 연구에서는 분산판에 의해 상하로 구분되는 이단 유동층가스화기를 이용하였다. 이 이중유동층 가스화기는 타르를 직접적으로 처리하기 위해 상부반응기가 존재하며 여기에 값싼 활성탄을 첨가하여 실험을 수행하였다. 반응기 재질은 스테인레스강(STS316)이며 전기히터를 설치하여 간접적으로 열을 제공하고 실험하는 동안 반응기의 온도가 일정하도록 조절하였다. 본문에 표기된 반응온도는 반응기 내에 온도센서를 설치하여 이들의 평균온도로부터 구하였다. 하부반응기로 투입되는 공기는 유동화매체로 사용되며 하부반응기 내의 열손실을 줄이기 위해 예열기를 이용하여 예열된 공기가 하부반응기로 들어가도록 하였다. 폐목재의 가스화 후 생성된 producer gas 내의 입자를 제거하기 위해 사이클론과 hot-filter를 연속적으로 두어 생성된 char를 분리하였고, producer gas 내의

Table 1. Main characteristics of woody waste

Proximate analysis	Values (wt%)	Elemental analysis <sup>a</sup>	Values (wt%)
Moisture	8.5	Carbon	48.2
Volatile matter	86.8	Hydrogen	6.7
Fixed carbon	4.4	Oxygen	44.9
Ash	0.3	Nitrogen	0.1
LHV(Lower heating value): 16.3MJ/kg		Sulfur	0.1

<sup>a</sup> : dry and ash free

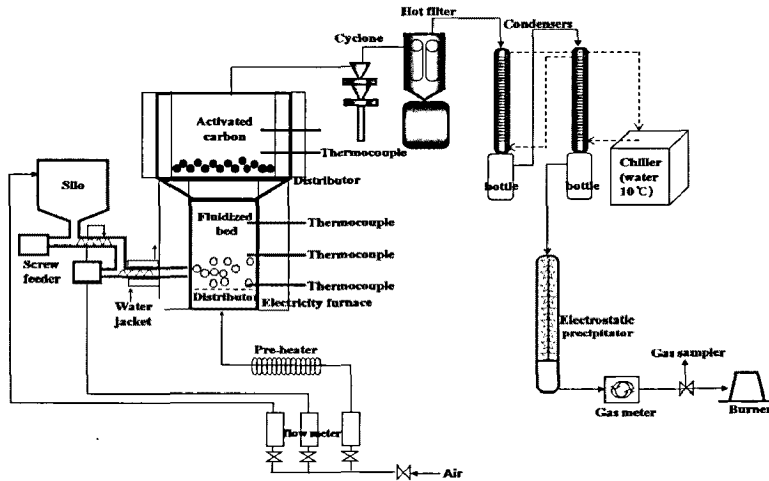


Fig. 1. Schematic diagram of the two-stage fluidized bed gasification system.

타르, 암모니아 같은 contaminants 그리고 기타 액상물 질들은 응축기를 통과하면서 응축이 되어 포집기에 포집되었다. Producer gas 내의 응축되지 않은 aerosol 형태의 성분들은 전기집진기를 통해 제거되도록 하였다. 최종적으로 EP를 거친 producer gas는 가스미터를 통해 가스발생량이 산출되며 버너를 이용하여 최종 연소시켰으며 producer gas의 분석을 위해 gas-bag을 이용하여 3분 간격으로 샘플링하였다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 실험조건

상부반응기온도와 equivalence ratio 변화에 따른 producer gas의 특성(조성, 타르함량, 저위발열량)을 고찰하기 위해 총 4번의 실험을 실시하였다.

Table 2에서 나타내듯이, Run1~Run3은 상부반응기 온도변화에 따른 영향을 알아보는 실험으로 하부반응기 온도와 equivalence ratio를 각각 약 825°C, 0.33로 유지한 후, 상부반응기 온도를 743, 793, 838°C로 변화하여 가스화 실험을 하였다. 또한 equivalence ratio 변화에

따른 영향을 알아보기 위하여 equivalence ratio를 0.17로 한 Run4를 추가 실험하여 Run3의 결과와 비교하였다.

2.3.2. 생성물 분석방법

가스화 후 생성물들은 producer gas, condensate liquid, 타르, char로 나누어졌다. Producer gas의 분석은 GCs (TCD, FID)와 GC-MS를 이용하여 정량정성분석을 하였다. 이 때, GC(TCD)에 사용된 컬럼은 carboxen 1000으로 producer gas 내의 H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>를 분석하였으며, 탄화수소류들(C<sub>1</sub>~C<sub>10</sub>)은 GC(FID)에서 컬럼(HP-plot Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/KCl)을 이용하여 분석하였다. 특히, producer gas 내 타르 함량은 FID에서 검출된 벤젠 피크 이후의 물질을 타르로 규정하여 분석하였다. 또한, 저위발열량은 GCs를 통해 구한 각각의 가스함량과 가스함량에 따른 발열량을 곱하여 산정하였다. 타르의 성분분석은 GC-MS를 이용하였고 GC-MS에 사용된 컬럼은 capillary column인 HP-5MS를 사용하였다. 이때 타르시료를 GC-MS로 바로 주입할 경우 컬럼이 막힐 수 있으므로 아세톤을 사용하여 1:5로 희석하여 0.4 µl을 주

Table 2. Experiment conditions for gasification of woody waste

	Run1	Run2	Run3	Run4
Bottom reactor temperature(°C)	820	823	824	839
Upper reactor temperature(°C)	743	793	838	834
Equivalence ratio(ER)	0.34	0.33	0.33	0.17
Feed rate(g/min)	13.0	13.4	13.4	26.3
Activated carbon(g)	450	450	450	450

입하여 분석하였다. GC-MS를 통해 발견된 각 피크들은 wiley 275 library에 의해 식별하였으며 피크면적을 통해 각 성분의 area%를 나타내었다. Condensate liquid은 실험전후의 응축기의 무게차이로 산정하였으며 char 역시 반응기 내부 및 사이클론과 hot-filter에서 발생된 양을 회수하여 무게를 산정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 상부반응기 온도변화에 따른 영향

상부반응기 온도변화에 따른 생성물 분포, producer gas의 특성(조성, 타르함량, 저위발열량)을 확인하였다.

##### 3.1.1. 생성물 분포

가스화 실험 후 각 성분에 해당하는 무게를 측정하여

mass balance를 Fig. 2에 나타내었다.

모든 실험에서 생성물 중 90%이상이 producer gas임을 확인할 수 있었으며 793, 838°C에서는 그 양이 약 94 wt%에 달했다. 비교적 고온에서의 많은 producer gas 생성량은 반응기내에서의 타르의 열적 cracking 및 char의 가스화 반응에 의한 분해반응이 활발한 것에 기인한 것으로 보인다. Condensate liquid는 전체 생성물의 5 wt% 이상을 차지하였고 char는 1% 미만이었다.

##### 3.1.2. Producer gas 조성

Air gasification의 경우, 공기 중의 질소로 인해 생성 가스를 희석시키므로 질소를 제외한 producer gas의 조성을 Fig. 3에서 나타내었다.

Producer gas 조성들은 대부분 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 등으로 이는 전형적인 가스화에서 발생되는 성분

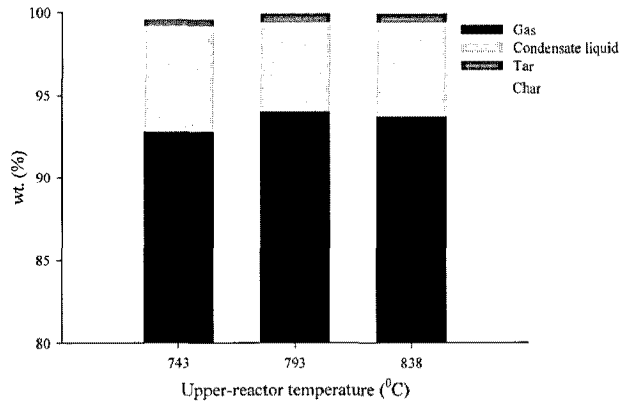


Fig. 2. Mass balance with respect to the upper-reactor temperature.

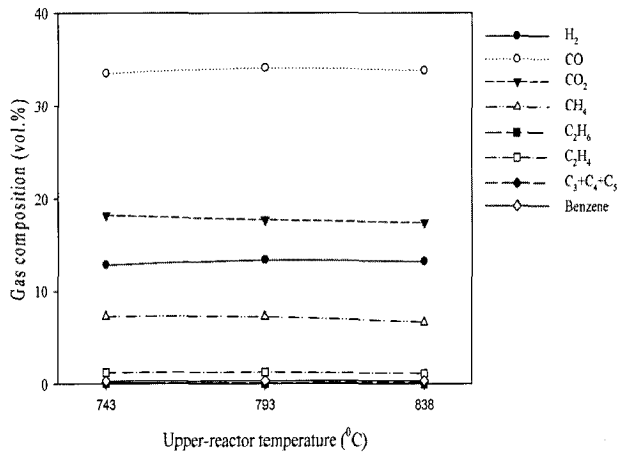


Fig. 3. Gas composition with respect to the upper-reactor temperature (N<sub>2</sub> free).

들과 같다. Fig. 3에서 보이듯이, 온도변화에 따른 가스 조성 변화는 크지 않게 나타났다. 하지만 상부반응기 온도가 증가할수록, H<sub>2</sub>와 CO의 함량은 소량 증가하고 (Run1에서는 H<sub>2</sub>와 CO의 함량은 각각 12.8, 33.4%, Run3에서는 13.2, 33.8%), CH<sub>4</sub>과 CO<sub>2</sub>함량은 감소하는 것(Run1에서는 CH<sub>4</sub>과 CO<sub>2</sub>함량이 18.3, 7.3%였지만 Run3에서는 17.4, 6.7%)을 확인하였는데 이는 다음의 반응식들에 의해 부분적으로 설명되어질 수 있다.<sup>2,5)</sup>

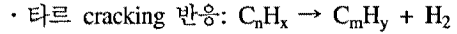
- Water-gas reaction:  $C + H_2O = CO + H_2 - 118 \text{ KJ/mol}$
- Boudouard reaction:  $C + CO_2 = 2CO - 160.5 \text{ KJ/mol}$
- Methane formation:  $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O + 74.9 \text{ KJ/mol}$

위의 반응식들은 가스화에서 일어나는 주요한 반응식들로 C는 폐목재 시료 중 탄소성분과 가스화 중 발생된 char이며 각각의 가스성분들은 가스화 중 발생하는 것이다. 상부반응기 온도가 증가한다는 것은 Le Chatelier's 원리에 의해 흡열반응일 경우 생성물로, 발열반응일 경우 반응물 쪽으로 반응이 촉진되기 때문에 H<sub>2</sub>, CO는 증가하며, CH<sub>4</sub>과 CO<sub>2</sub>는 감소하는 것으로 설명할 수 있다. 고온의 상부반응기에서의 수소발생량의 증가되는 원인 중 또 다른 하나는 하부반응기에서 생성된 타르의 열분해가 상부반응기의 온도가 더 높을 때 활발해진다는 점이다. 이 경우 타르의 열분해에 의해 수소가 추가적으로 발생되어질 수 있다.

3.1.3. Producer gas의 타르 함량 및 저위발열량(LHV) Producer gas의 타르 함량 및 저위발열량(LHV)이 Fig.

4에 나타나 있다.

활성탄이 투입된 상부 반응기의 온도가 증가할수록 타르 함량이 감소되었는데, 이는 고온에서 타르의 cracking 반응이 활발히 일어나기 때문이다. 타르 cracking 반응은 다음과 같다.<sup>6)</sup>



이 반응식에서 C<sub>n</sub>H<sub>x</sub>은 타르와 같은 고분자량의 유기 화합물, C<sub>m</sub>H<sub>y</sub>은 저분자량의 유기화합물을 의미한다. 실험에서는 Run1의 타르 함량이 1.68 mg/Nm<sup>3</sup>인데 비해 Run3의 경우, 0.92 mg/Nm<sup>3</sup>로 감소되는 것을 확인하였다. Producer gas의 저위발열량(LHV)은 비록 H<sub>2</sub> 함량은 증가하지만 고발열량을 가지는 CH<sub>4</sub>과 그 밖의 탄화수소류들이 감소하기 때문에 상부반응온도가 증가할수록 저위발열량은(LHV)는 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2. Equivalence ratio(ER) 변화에 따른 영향

Equivalence ratio는 공기비로서 완전연소에 필요한 화학 양론적 이론공기요구량과 실제 반응에 투입된 공기량의 비이다. Equivalence ratio의 변화에 따른 영향을 확인하기 위해, Run3(0.33)과 Run4(0.17)를 비교하였다.

3.2.1. Producer gas 조성

ER의 증가는 더 많은 공기의 투입으로 인해 산화반응이 더욱 활발히 일어난다는 의미이며 이를 통해, producer gas 내의 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>가 증가할 것이라고 예상

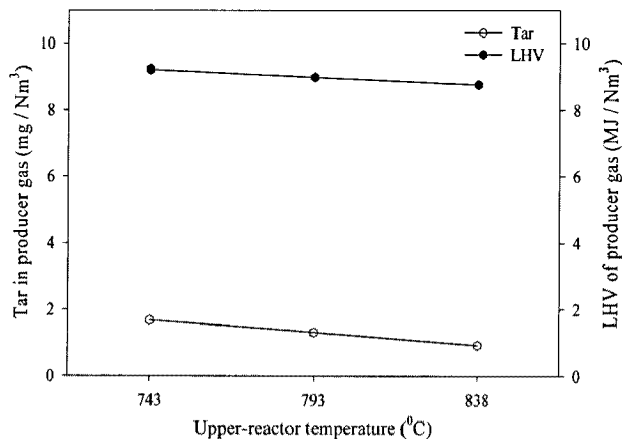


Fig. 4. The tar content and LHV of producer gas with respect to the upper-reactor temperature.

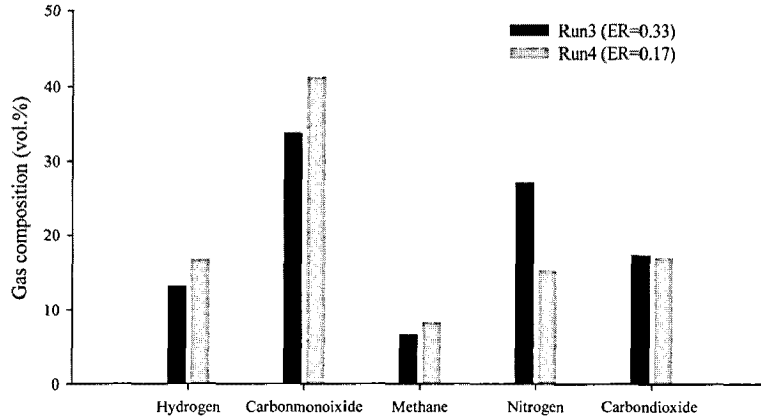


Fig. 5. Producer gas composition with respect to equivalence ratio.

할 수 있다. 이에 대한 결과로 ER비교실험에 따른 producer gas의 조성은 Fig. 5에 나타내었다.

ER이 증가함에 따라 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>가 증가되었으며 이에 반해, H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>등은 산화반응을 통해 감소되는 것을 확인하였다.

3.2.2. Producer gas의 타르 함량 및 저위발열량(LHV)

생성된 producer gas의 발열량을 Fig. 6에 나타낸 것처럼, ER이 증가함에 따라, 발열량을 가지는 H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> 등의 감소 및 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>와 같은 발열량을 가지지 않는 가스성분들의 증가로 인해서 producer gas내의 발열량이 감소하였다.

하지만 전형적인 air gasification에 의해 생성된 producer gas의 발열량이 3~6 MJ/Nm<sup>3</sup> 것에 비해,<sup>7,8)</sup> 본 연구 (Run4)에서는 약 10 MJ/Nm<sup>3</sup>의 발열량이 넘는 producer

gas를 생산하였다. Producer gas 내의 타르 함량의 경우, Run4에서는 타르 함량이 1.1 mg/Nm<sup>3</sup>에서 산화반응을 통해 타르 cracking이 더욱 활발한 Run3에서는 0.9 mg/Nm<sup>3</sup>로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Producer gas를 연료로 이용하여 전력생산을 하기위한 gas engine의 최대 타르 허용치는 10~100 mg/Nm<sup>3</sup>이하로 알려져 있다.<sup>9,10)</sup> 본 연구에서 생성된 모든 producer gases내의 타르 함량은 2 mg/Nm<sup>3</sup>이하이어서 전력생산을 위한 가스엔진의 적용이 가능할 것으로 여겨졌다.

3.3. 타르 성분분석

가스화 중 발생된 타르는 producer gas 뿐 아니라 condenser에 의해 그리고 전기집진기에 의해 응축 또는 포집되어진다. 본 연구에서는 생성된 타르의 대부분은 전기집진기에 의해 포집되어졌다. 전기집진기에 의해 포

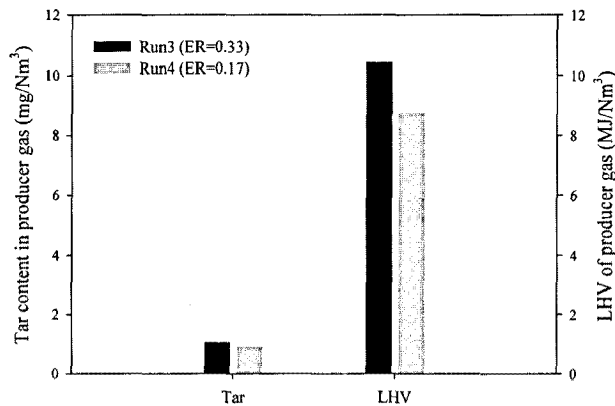


Fig. 6. The tar content and LHV of producer gas with respect to equivalence ratio.

집된 타르의 성분분석을 위해 GC-MS를 이용하였고, Table 3에 피크면적이 약 0.2% 이상인 성분을 나타내

었다. EP에 의해 포집된 성분 중 98% 이상이 타르임을 확인하였고 나머지는 ammonia, 벤젠분자량 이하물

**Table 3.** Major components of the tar captured by the electrostatic precipitator

Tar components	Formula	Run1	Run3
Phenols			
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	1.1	0.2
3-Methylphenol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.2	-
1-Naphthalenol	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O	0.2	-
Furans			
Benzofuran	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O	0.9	0.2
7-Methylbenzofuran	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O	0.4	-
Dibenzofuran	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> O	2.4	3.6
Nitrogen containing aromatics			
Benzonitrile	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N	0.3	0.2
Quinoline	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> N	0.4	0.3
1-Pyrrolidino-1-cyclopentene	C <sub>9</sub> H <sub>15</sub> N <sub>7</sub>	-	4.2
Aromatic compounds			
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.3	0.1
Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	1.1	0.4
Indene	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub>	5.5	3.4
1-Ethyl-3-methylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	0.2	-
1,3-Diethenylbenzene	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	0.2	-
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)			
Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	28.1	25
1-Methylnaphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	7.3	1.0
2-Methylnaphthalene	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	0.2	1.6
Biphenylene	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	0.2	-
Acenaphthalene	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	15.7	16.5
Acenaphthene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	0.3	-
2-Ethyl-naphthalene	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	2.1	0.5
Biphenyl	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	3.6	2.5
1,6-Dimethylnaphthalene	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub>	0.2	-
Fluorene	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	5.0	8.3
Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	17.3	22.7
Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	0.3	-
4H-cyclopentaphenanthrene	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub>	0.5	0.1
Pyrene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	-	5.8
Fluoranthene	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	1.2	0.8
1-Methylpyrene	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub>	0.7	0.2
Androstane	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub>	-	1.1

질 그리고 unknown compounds 등이다. 타르는 페놀류, 퓨란류, 질소가 포함된 방향족, 방향족 및 PAHs들로 나눌 수 있으며 대부분이 PAHs인 것으로 확인하였다.<sup>11)</sup> PAHs는 반응온도 800°C이상에서 생성되는 전형적인 화합물들로서, Table 3에서 나타내듯이, 주로, naphthalene(2ring), acenaphthalene, phenanthrene (3ring)으로 구성되었다. 만약 가스화 공정 중 관 등의 온도가 PAHs의 끓는점(200~400°C) 이하일 경우 관내에서 PHAs 성분들의 응축이 일어나 blocking 현상을 유도하기 때문에, 적어도 관들을 400°C이상으로 유지하는 것이 매우 중요하다.

#### 4. 결 론

새롭게 개발한 이단 유동층 반응기를 이용하여 폐목재의 air 가스화를 통한 고발열량의 청정 producer gas 생산에 관한 연구를 수행하였다. 상부반응기온도와 equivalence ratio변화에 따른 실험을 수행하였고 producer gas의 조성, LHV, 타르 함량을 확인하였다.

상부반응기 온도가 증가함에 따라 producer gas 내의 H<sub>2</sub>와 CO가 소량 증가하였지만 CH<sub>4</sub>을 포함한 탄화수소류들이 감소하였기 때문에 LHV는 감소되는 것을 확인하였다. 하지만 producer gas 내의 타르 함량은 고온으로 갈수록 열적 cracking에 의해 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Equivalence ratio(ER)의 변화에 따른 실험에서, ER이 0.17일 때 producer gas의 LHV가 약 10.4 MJ/Nm<sup>3</sup>으로 전형적인 air 가스화에서 생성된 producer gas의 발열량(3~6 MJ/Nm<sup>3</sup>)보다 매우 높았다. 하지만 ER 값에서는 더 많은 공기가 투입되어 산화반응이 활발히 일어나기 때문에 producer gas 내의 발열량을 가지지 않는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 함량이 증가하여 LHV는 감소되어졌다.

본 연구에서 생성된 모든 producer gases의 타르 함량은 2 mg/Nm<sup>3</sup>이하로서 일반적으로 전력생산을 하기 위한 gas engine의 최대 타르 허용치인 10~100 mg/Nm<sup>3</sup> 이하의 값을 만족하기 때문에 생성된 producer gas가 가스엔진의 연료로써 적합하다고 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-핵심연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0083854).

#### 참고문헌

1. P. Mckendry, 2002: Energy production of biomass (part2); conversion technologies, Bioresource Technology, 83, pp. 47-54.
2. P. Basu, 2006: Combustion and Gasification in Fluidized Bed, Taylor&Francis Group, pp. 59-101.
3. L. Devi *et al.*, 2003: A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes, Biomass and Bioenergy, 24, pp. 125-140.
4. H. Boerrigter *et al.*, 2005: "OLGA" Tar Removal Technology; Proof-of-concept (PoC) for application in integrated biomass gasification combined heat and power (CHP) systems, Energy research Centre of the Netherlands, ECN biomass, ECN-C-05-009, pp. 3-17.
5. C. Higman and M. van der Burgt, 2008: Gasification second edition, Gulf Professional Publishing, pp. 11-31.
6. Z. Abu El-Rub *et al.*, 2004: Review of catalysts for tar elimination in biomass gasification processes, Ind. Eng. Chem. Res, 43, pp. 6911-6919.
7. L. Wang *et al.*, 2008: Contemporary issue in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production, Biomass and Bioenergy, pp. 573-581.
8. P. Mckendry, 2002: Energy production of biomass (part3); gasification technologies, Bioresource Technology, 83, pp. 55-63.
9. T. A. Milne *et al.*, 1998: Biomass gasifier "Tars": their nature, formation, and conversion, NREL/TP-570-25357, pp. 1-204.
10. P. Hasler *et al.*, 1999: Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification, Biomass and Bioenergy, 16, pp. 385-395.
11. J. Good *et al.*, 2005: Sampling and analysis of tar and particles in biomass producer gases - Technical Report-version-3.8-final, pp. 1-44.





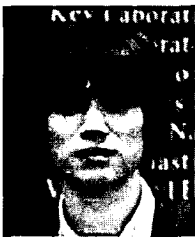
文 太 永

- 현재 서울시립대학교  
도시환경시스템공학과 박사과정



金 鎮 五

- 현재 서울시립대학교  
도시환경시스템공학과 석사과정



金 鎮 元

- 현재 서울시립대학교  
도시환경시스템공학과 석사과정



金 周 植

- 서울대학교 섬유공학과 학사
- 서울대학교 섬유공학과 석사
- 독일 Hamburg 대학교 화학과 박사
- 현 서울시립대학교 부교수

## 學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解說	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解說, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調查의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解說하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外的 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 階霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.