

## 하향류식 가스화기를 이용한 바이오매스 가스화 시스템 개발

손 영일<sup>1)</sup>, 윤 상준<sup>2)</sup>, 최 영찬<sup>3)</sup>, 김 용구<sup>4)</sup>, 라 호원<sup>5)</sup>, 이 재구<sup>6)</sup>

### Development of Biomass Gasification System Using a Downdraft Gasifier

YoungIl Son, SangJun Yoon, YoungChan Choi, YongKu Kim, HoWon Ra, JaeGoo Lee

**Key words** : Syngas(합성가스), Biomass(바이오매스), Gasification(가스화), Power Generation(발전)

**Abstract** : Since biomass is given the status of "renewable resource" in contrast to "exhaustible resource" e.g., fossil fuels, it plays a significant role in the sustainable development in future. We installed a downdraft gasifier for power generation from biomass materials. The biomass raw materials were wood chips with a moisture content of 18-23 wt.%, supplied at 40-50kg/h. This paper describes on the optimum gasification air ratio that is defined as the ratio of the oxygen mole supplied into the gasifier to the oxygen mole required for complete combustion for producing syngas supplied into a gas engine. The results showed that, lower heating value of the syngas was 1200 kcal/m<sup>3</sup> N-dry and cold gas efficiency of the gasification system was 72% under optimum operating conditions.

### 1. 서 론

바이오매스는 비교적 높은 H/C 비를 갖기 때문에 가스화 특성이 석탄 보다는 손쉽다고 할 수 있다. 또한 구성 성분 중 중금속, 황, 질소를 거의 함유하지 않는 점에서, 생성가스 중의 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>의 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. 여러가지 바이오매스 장점에도 불구하고 손쉽게 가스화가 상용화되고 있지 못하는 이유중의 하나는 바이오매스로부터 가스화에 의해 생성된 합성가스 중에는 불순물로서 발생하는 타르, 더스트 등이 배관이나 열교환기 등에 부착되어 연속 운전을 방해하는 동시에 합성가스의 에너지변환장치(가스엔진, 가스터빈 등)의 효율을 저하시키는 점을 들수있다.<sup>(1)</sup> 가스화 공정에서 생성된 합성가스 품질을 향상시키고, 탄소전환율

을 증가시키기 위해서는 분해가 어려운 tar나 soot 성분을 물리적으로 제거 하는것보다는 열화학적 변환에 의해 합성가스로 전환시켜 주는 것이 좋다고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 비교적 구조가 간단하고 타르 발생량이 적은 Downdraft 가스화기를 제작하여 실험하였다.

본 장치는 가스화제와 생성가스가 반응기 하단부로 흐르게 되어 있는 점을 제외하고는 Updraft 가스화장치와 동일하다. 생성가스는 반응기 하단부로

- 1) 한국에너지기술연구원  
E-mail : sonyi@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3357 Fax : (042)860-3134
- 2) 한국에너지기술연구원  
E-mail : yoonsj@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3305 Fax : (042)860-3134
- 3) 한국에너지기술연구원  
E-mail : youngchan@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3784 Fax : (042)860-3134
- 4) 한국에너지기술연구원  
E-mail : yongku@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3354 Fax : (042)860-3134
- 5) 한국에너지기술연구원  
E-mail : seojun@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3076 Fax : (042)860-3134
- 6) 한국에너지기술연구원  
E-mail : jaegoo@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3350 Fax : (042)860-3134

호르게 되어 약 800-1,100°C에서 char와 반응하여 합성가스(CO+H<sub>2</sub>)를 생성 한다. 본 장치의 장점으로서는 가스화중에 발생하는 타르를 약90%이상 제거 할 수 있어 추가적인 가스정제 공정이 필요치 않으며, 미량 금속 성분의 경우 반응기 하단부에서 ash와 같이 처리되어 후단의 집진설비의 부하를 줄일 수 있다는 것이다. 또한 Updraft 가스화장치와 같이 공정이 단순하고 초기투자비가 적으며 잘 알려진 기술로 분류되기 때문이다. 본 연구에서는 Downdraft 가스화기를 이용하여 바이오매스의 합성가스 생성 특성 및 실제 생성된 합성가스를 이용하여 가스엔진의 적용특성에 대하여 알아보았다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 시료

실험용으로 3-5cm 크기의 선별된 우드칩을 연료로 사용하였다. 우드칩의 공업분석 및 원소 분석 결과를 표1에 나타내었다.

Table 1 우드칩의 원소 · 공업분석치

Proximate analysis	
Item	Wood chip
Moisture (wt%)	21.7
Volatile (wt%)	60.9
Fixed carbon (wt%)	14.3
Ash (wt%)	3.9
Ultimate analysis	
C (wt%)	46.5
H (wt%)	5.8
O (wt%)	43.5
N (wt%)	0.2
S (wt%)	0.1
HHV (kcal/kg)	4130

### 2.2 실험장치

본 가스화 장치 시스템 흐름도를 그림1에 나타내었다. 본 가스화 장치는 Downdraft 가스화기, Cyclone, Reformer, Scrubber, Dust filter, Boiler, Engine으로 구성되어 있다. 가스화기의 구조를 그림2에 나타내었다. 본 가스화장치는 일반적으로 하부에서 공기를 유입 하는 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 공급 되는 바이오매스가 연소되는 연소부, 상기 연소부 측면으로부터 가스화용 공기를 주입 하는 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 처리부로 구성되어 있다.

호퍼로부터 낙하하는 바이오매스는 연소부의 화염에 의해 건조 또는 부분분해가 이루어지고 이 물질은 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 가스화되며, 연소 가스는 단열층에 의해 가스화를 위한 온도를 유지할 수 있게 된다. 가스화 반응에 의해 남게 되는 재(ash)성분은 그레이트를 통해 하부로 떨어져 물에 의해 냉각되어진 후 회재 회수부를 통해 회수된다.

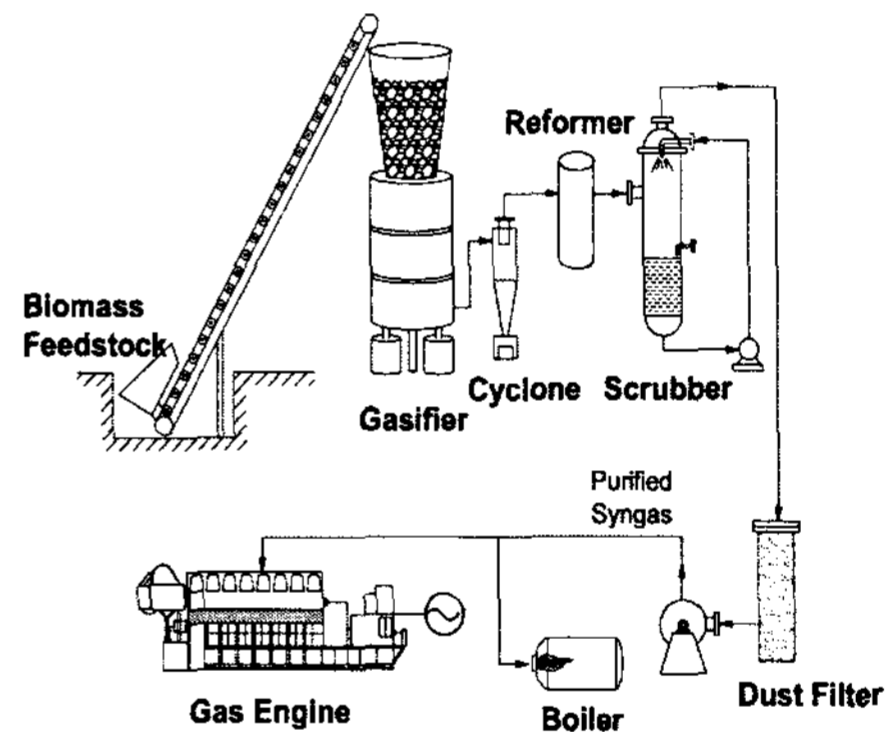


Fig. 1 하향류식 가스화 발전 시스템

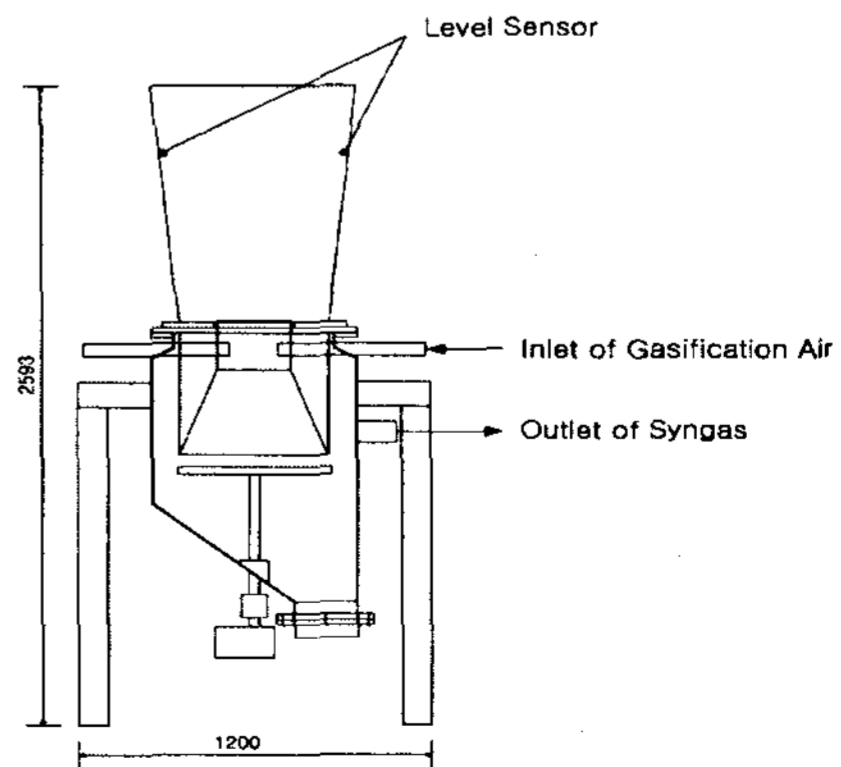


Fig. 2 하향류식 가스화기 개략도

### 2.3 실험방법

본 실험에서 수행된 실험조건은 Wood chip 공급량 40~45kg/h, 온도는 연소부를 기준시 1000℃를 유지하였다. 표2에 평균적인 가스화 운전 조건을 나타내었다. 생성가스 분석은 가스엔진 전단계에 있는 Dust filter 출구에 설치된 샘플링 포트로부터 집진 및 냉각에 의한 전처리를 거친다음 on-line 분석기(GC, HP6890)을 이용하여 분석하였다. 타르 분석은 가스화기 출구에 설치된 샘플링 포트로부터 J.P.A. Neef가 제안한 Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases Version 3.3<sup>(2)</sup>에 준하여 실험 하였다.

Table 2 가스화 운전 조건

Component Name	Operational Conditions
Wood Chip Feed Rate	40-55 kg/h
Air ratio	0.2-0.85
Gasifier Temperature (middle)	700-850 °C
Gasifier Temperature (bottom)	800-1,000 °C
Syngas flow	50-130m <sup>3</sup> N

### 3. 실험결과

가스화기 내부의 온도는 char 연소영역 및 휘발분 연소 영역에서 측정하였다. 본 실험에서는 char 가스화부 온도가 700~850℃, 휘발분이 연소되는 가스화부에서는 800~1,000℃로 측정되어 char 연소영역에서의 온도가 휘발분 연소 영역에서 가스화되는 온도보다 다소 낮다는 것을 알 수 있었다. 그림3에 가스화 공기비 0.35~0.4로 운전한 경우의 시간경과에 따른 합성가스 조성 및 저위발열량을 나타내었다. 생성된 합성가스의 평균농도는 H<sub>2</sub>:16.5%, CO:15.9%, CH<sub>4</sub>:2.1%, CO<sub>2</sub>:15.3%로 나타났다. 그림4에 가스화 공기비를 변화했을 경우의 합성가스 저위발열량 및 냉가스효율을 나타내었다. 가스화 공기비는 하기의 식으로 정의하여 산출하였다. 가스화 공기비 0.2~0.35까지는 가스화 공기비가 증가함에 따라 저위발열량이 증가 하였지만 가스화 공기비가 0.5이상 이 되면 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 가스화기의 온도를 유지하기 위해 가스화 공기비를 증가시키면 타르 및 가연성가스 일부가 연소되어 그 열량만큼 합성가스 저위발열량이 감소 한 것으로 사료된다. 또한 가스화 공기비 증가에 의한 질소회석량 증가도 합성가스 저위발열량 감소원 인으로 작용하였다. 본 실험 에서는 가스화 공기비 0.3~0.35 정도일때 저위발열량 1,100~1,200 kcal/m<sup>3</sup>N, 냉가스효율 69~72% 수준으로 얻을수 있었다.

일반적으로 합성가스를 가스엔진에 적용하는데 최소한 발열량이 1,000kcal/m<sup>3</sup>N 이상이어야 한다고 알려져 있다.<sup>(3)</sup> 위의 실험결과로부터 40~45 kg/h의 우드칩을 공급하면 저위발열량 1,100~1,200kcal/m<sup>3</sup>N, 생성가스량 80~100m<sup>3</sup>N/h 정도의 합성가스가 생성되었다. 또한 타르 포집 방법은 그림5에 나타낸 것처럼 가스화 가스중에 함유된 타르 성분을 300℃~350℃ 가온상태에서 probe 을 통과한 다음 필터 공정을 거친다. 타르의 1차 포집은 20℃도 이하의 인편저병에 포집하고, 2차로 -20℃의 인편저병에서 포집하였다. 인편저병의 타르 용액을 여과지를 이용하여 여과한 후 인편저병 내벽에 부착된 타르는 isopropanol으로 용해시켜, 회수한 용액을 Evaporator를 이용하여 증류시킨다. 증류한 후에 남은 물질을 타르로 정의하여, 샘플링 가스 유량으로부터 타르 농도를 구한 결과, 본 가스화 장치에 의한 타르 발생량은 일반적인 목초 제조액 공정 경우의 10~30% 수준 보다 훨씬 낮은 3.9~4.4g/m<sup>3</sup>N 수준으로 개질 반응기나 정제과정에서 제거하면 가스엔진에서 충분히 이용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

$$\text{가스화공기비} = \frac{\text{가스화기에 공급하는 공기중의 산소량(ml)}}{\text{연료의 완전연소에 필요한 산소량(ml)}}$$

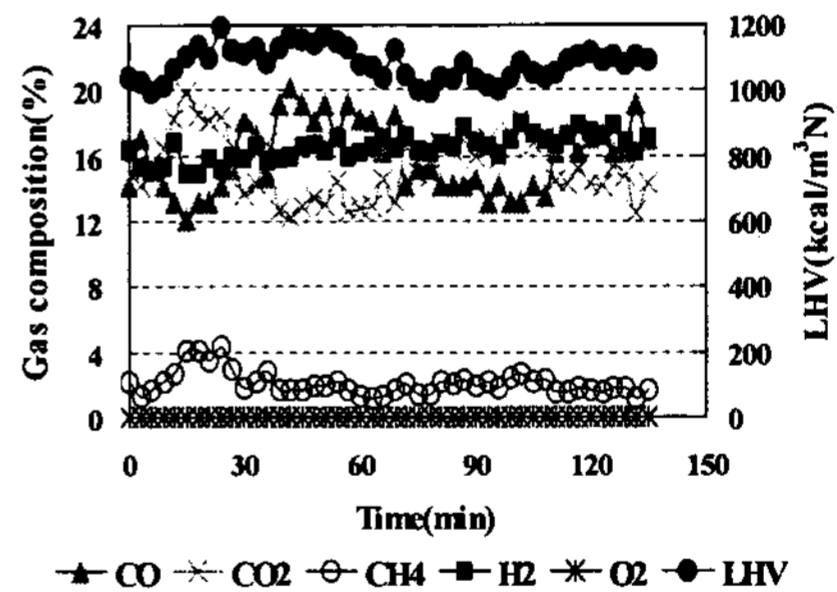


Fig.3 시간경과에 따른 합성가스 조성 및 저위발열량의 관계

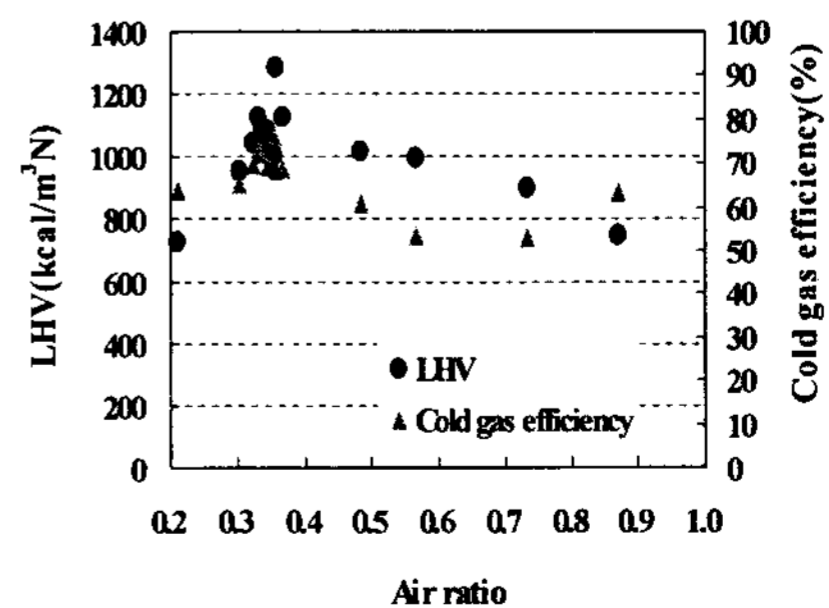


Fig.4 가스화 공기비와 합성가스 저위발열량 및 냉가스 효율의 관계

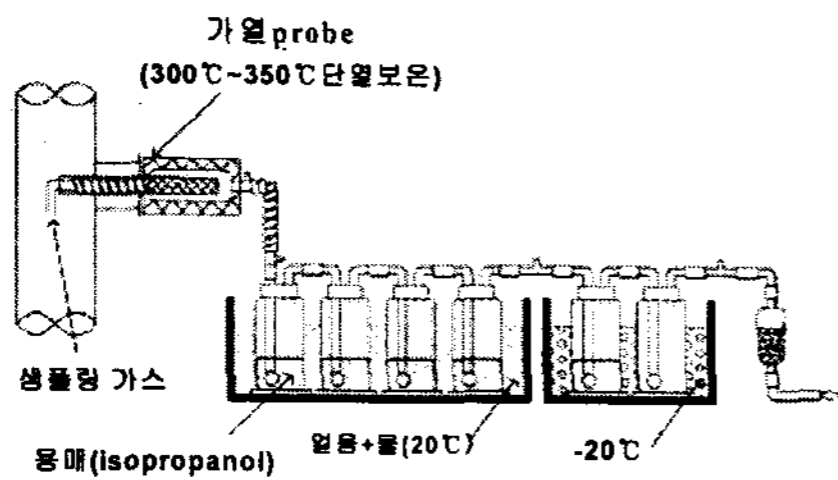


Fig.5 타르 포집 방법

#### 4. 발전특성

본 실험장치에서 생성되는 합성가스를 가스엔진의 연료로서 발전을 하기 위해서 LPG연료를 기본으로 설계된 CD800L 왕복식 엔진을 합성가스 사용시 동일한 제원과 운전 조건에 대해 연료 공급계통만 개조하여, 하향류식 가스화기에서 생성된 저칼로리가스를 가스엔진발전기에 실제로 공급하여 실험을 하였다. 본 실험에 사용한 가스엔진 및 발전기 제원을 표3에, 가스엔진 사진을 그림6에 나타내었다. 가스엔진 발전 실험 결과를 표4에 나타내었으며 실험을 통하여 안정적으로 발전이 가능함을 확인 하였으며 HC농도는 230ppm이하, NOx 농도는30~40ppm 수준으로 나타났다.

Table 3 가스엔진 및 발전기 제원

Engine	Model	-	CD800L
	Type	-	OHC
	Number of Cylinders	-	3
	Displacement	cc	796
	Bore × Stroke	(mm × mm)	70 × 69
	Compression Ratio	-	10
	Maximum Power	PS/rpm	38/4900
	Maximum Torque	kg·m/rpm	6.3/2200
Generator	Output	kW	10
	Type	-	EK2LCT
	Engine speed	rpm	3,600
	Voltage	V	220
	Frequency	L/h	60

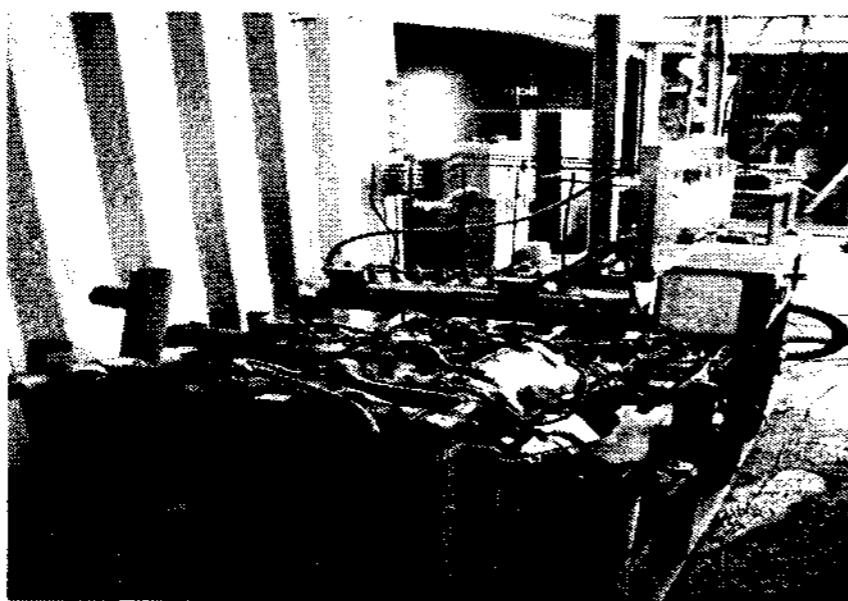


Fig.6 가스엔진 사진

Table 4 가스엔진 실험 결과

Low Heating Value of the Syngas (LHV)[kcal/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [ppm]	HC[ppm]	Engine input Syngas flow [m <sup>3</sup> /h]
922	29	73	27
926	28	151	22
932	28	122	26
947	30	82	27
984	41	148	31
1019	43	192	24
1038	40	122	31
1051	38	71	27
1121	38	224	27

#### 5. 결론

본 연구에서는 저타르 발생을 유도하는 하향류식 고정층 가스화기를 이용하여 목질계 바이오매스의 가스화 특성 및 발전특성을 살펴 보았다. 가스화기의 온도는 1000°C내외로 운전이 가능하였으며, 가스화 공기비 0.3-0.35 일때 저위발열량 1,100-1,200kcal/m<sup>3</sup><sub>N</sub>, 냉가스효율 69-72% 수준으로 얻을수 있었다. 또한, 기존의 상향류식 바이오매스 가스화기에서 발생하는 10-30% 정도의 타르 발생량에 비하여 본 연구에서 적용한 하향류식 가스화기에서는 3.9-4.4g/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 수준으로 나타나 가스화 전환율을 향상시켜 주었고, 생성가스를 이용하여 가스엔진 발전 실험 결과, 안정적으로 발전이 가능함을 확인 하였으며 HC농도는 230ppm 이하, NOx농도는 30-40 ppm 수준으로 나타났다.

#### 후기

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지 기술개발사업과 농림부 친환경바이오에너지 사업단 과제의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] Son Y.I, et al., A Study on Measurement of the Light Tar Content in the Fuel Gas Produced from Small-scale Gasification and Power Generation Systems, Proceedings of the 15th Annual Meeting of the Japan Institute of Energy, August, 2006
- [2] Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases Version 3.3, 1999-2002
- [3] Quakk, P., Knoef, H., and Stassen, H., Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technology, World Bank Technical Paper No.422, 1999