

벼짚으로부터 바이오오일 生産에 대한 熱分解 반응온도의 影響†

姜普盛 · 朴榮權 · *金周植

서울시립대학교 환경공학부

Influence of Reaction Temperature on Bio-oil Production from Rice Straw by the Pyrolysis†

Bo-Sung Kang, Young-Kwon Park and *Joo-Sik Kim

Faculty of Environmental Engineering, University of Seoul, 90, Jeonnon-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul 130-743, Korea

요 약

벼짚은 국내에서 유용한 재생 가능한 바이오매스이다. 유동층과 char 분리 장치가 구비된 급속 열분해 장치를 이용하여 벼짚으로부터 바이오오일의 생산에 대한 실험을 수행하였다. 본 연구는 온도변화에 따른 벼짚의 열분해 생성물의 분포와 생성물의 화학적 구성을 알아보고 바이오오일의 활용 가능성을 고찰하고자 했다. 급속 열분해 반응은 466°C, 504°C, 579°C에서 각각 수행되었다. 유동화 매체로는 생성가스를 사용 하였으며 유량은 약 30NL/min 였다. 벼짚의 열분해 결과 기체, 액체, 고체 물질을 얻을 수 있었으며, 기체물질은 GC(TCD, FID)를 이용하여 정성적, 정량적 분석을 하였다. 액체물질은 상등액과 tar가 풍부한 하등액으로 분리하여 발열량, 원소분석, 수분, GC/MS를 통해 화학구성성분을 분석하였다. 고체물질인 char는 원소분석을 하고 그 발열량을 측정하였다. 액체물질인 바이오오일은 화학특성 분석결과 대체 연료유뿐만 아니라 화학 원료물질로서의 사용가능성을 볼 수 있었다.

주제어 : 벼짚, 열분해, 바이오오일, 재생에너지, 연료유, 바이오매스

Abstract

Rice straw is one of the main renewable energy sources in Korea. Bio-oil is produced from rice straw with a lab-scale equipment mainly with a fluidized bed and a char removal system. It was investigated how the reaction temperature affected the production of bio-oil and the efficiency of a char removal system. To elucidate how the temperature depended on the production of bio-oil, experiments were conducted at 466°C, 504°C and 579°C, respectively. The mass balance was established in each experiment, and the produced gas and oil were analyzed with the aid of GCs and a GC-MS system. The char removal system is composed of a cyclone and a hot filter. In the experiments, we observed that the production of bio-oil was decreased with temperature, and the bio-oil contained very useful chemicals.

Key words : rice straw, pyrolysis, bio-oil, renewable energy, fuel oil, biomass

1. 서 론

국제적으로 화석에너지의 소비로 인한 대기오염과 화석에너지의 고갈로 인한 에너지 수급의 문제에 직면하면서 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 바이오

매스는 태양에너지를 이용하여 지구 온난화 물질인 이산화탄소가 고정된 탄소화합물이기 때문에, 바이오매스는 결국 화석연료와 함께 탄소화합물이라는 특성을 지니고 있는 에너지 저장물질이라고 할 수 있다.¹⁻²⁾ 이러한 바이오매스는 인간 생활권에 속하는 전 지역에 골고루 분포하고 있는 풍부한 자원으로, 화석연료와는 달리 안정적이고 지속적인 공급이 가능하며 식물체의 생

† 2005년 10월 27일 접수, 2005년 12월 21일 수리

*E-mail: joosik@uos.ac.kr

장을 통해 이산화탄소를 흡수하여 지구 온난화 경감효과를 제공하는 장점을 가지고 있다.^{3,4)} 세계 각국에서는 지구 온난화에 대한 바이오매스의 긍정적인 효과에 주목하고, 이산화탄소 배출량 저감을 위한 구체적인 방안으로서 바이오매스 자원화 정책을 수립하여 실시하고 있으며^{5,6)} 바이오매스로부터의 에너지 회수 및 활용을 위한 자원화 기술의 개발 및 연구를 적극적으로 수행하고 있다. 이러한 장점 외에도 바이오매스는 에너지원으로서의 역할뿐 아니라 화학 산업의 원료 물질 공급원의 역할까지 수행 할 수 있다는 점에서 다른 재생 가능한 자원과 구별되는 독특한 특성을 가지고 있다. 특히 석유 화학 산업이 유발하는 심각한 환경문제는 환경 친화적인 대체원료로서의 바이오매스 자원에 대한 중요성을 새롭게 부각시키는 계기가 되었다⁷⁾. 그러나 대부분의 바이오매스 자원화는 대체에너지원으로서 활용 측면에 집중되어 있으며, 화학물질 공급원으로서의 역할은 미미하게 다루어지고 있다. 이러한 사실로부터 바이오매스 자원화에 있어서 화학물질 회수 목적의 자원화 기술 개발 및 연구의 필요성과 당위성을 발견할 수 있다. 볏짚은 이러한 바이오매스의 한 종류로서 국내에서는 연간 700만톤 이상이 생산되고 있으며, 대부분 퇴비, 사료, 소각 등 단순한 방법의 재이용을 통해 처리되고 있다. 본 연구에서는 약 460°C에서 580°C사이의 온도에서 볏짚을 열분해 하여 생성물의 발생특성 및 성분분석을 통해 연료로서 뿐만 아니라 화학원료로서의 가능성을 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 볏짚

본 실험에 사용된 시료는 국내에서 가장 많이 재배되

는 벼 품종을 선택하였다. 실험 전 시료의 물리적 특성과 화학적 특성을 분석하였으며 자체 수분을 줄이기 위하여 풍건하여 건조하였다. 시료크기에 의한 영향을 줄이기 위하여 시료의 크기는 5 mm이하의 비교적 작고 균일한 크기로 절단하였다. Table 1은 볏짚의 물리, 화학적 특성을 분석한 결과이다. 분석결과 다른 바이오매스와 마찬가지로 대부분 cellulose와 hemicellulose, lignin으로 구성되어 있으며 약 86%를 차지하는 것으로 나타났다. 원소분석에 의한 볏짚에서의 C, H, N, O, S의 함량을 조사하였다. 볏짚의 특징은 다른 바이오매스에 비해 회분의 비가 높았고 회분의 상당 부분은 alkali 및 alkali earth metal 성분들이 차지하고 있었다. 또한 산소의 함량이 비교적 많아 낮은 발열량을 가지고 있다.

2.2. 열분해장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 embedded type 열분해 장치의 공정도이다. 반응기는 스테인레스 스틸로 제작하였다. 반응기 내부로 유동화 매체가 균일하게 공급될 수 있도록 반응기 하부에 hooked type 분산판을 설치하였다. 반응기 내부에는 온도 조절의 중요성을 감안하여 분산판 위에 3개, 하부에 1개 등 4개의 온도센서를 부착하여 위치에 따른 온도 분포를 확인 할 수 있도록 하였으며, 열 공급 장치와 연결하여 반응기의 온도를 조절할 수 있도록 제작하였다. 반응기 내부로 시료 공급을 위한 시료주입 장치는 hopper, feeder 1 및 2로 구성되어있다. Hopper는 시료를 반응기로 투입하기 전에 저장하는 곳으로 약 2L의 용량을 가진다. 시료를 hopper에 투입 시 유입된 공기는 질소를 장시간 주입함으로써 제거 하였다. 시료의 원활한 공급을 위하여 두 개의 screw feeder를 사용하였으며, 첫 번째 screw feeder는 hopper 하단에 부착되어있으며 시료를 일정하

Table 1. Analysis of rice straw.

Proximate analysis(wt%)		Alkali- and Alkali earth metals(ppm)	
moisture	6.62	Na	250
volatiles	64.34	Mg	1876
fixed carbon	17.88	Ca	2946
ash	11.16	K	25261
Elemental analysis(wt%)		Si	23534
C	39.20	Heating value(MJ/kg)	12.85
H	4.84	Composition(wt%)	
N	1.60	Cellulose	54.64
O	53.69	Hemicellulose	32.53
S	0.67	Lignin	12.83

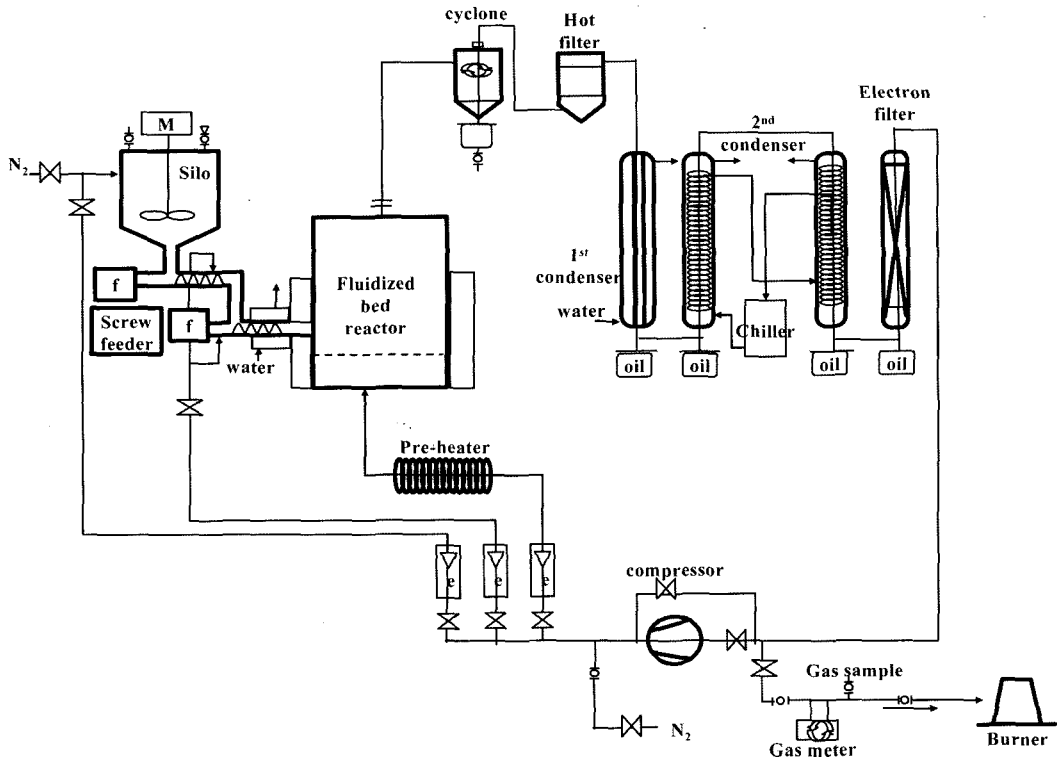


Fig. 1. Flow schema of pyrolysis process

게 공급하는 역할을 한다. 두 번째 screw feeder는 첫 번째 screw feeder에서 일정하게 공급되는 시료를 반응기 내부로 투입하는 기능을 한다. 두 번째 screw feeder에는 물 순환장치가 있어서 반응기로부터의 열 흐름에 의한 시료의 변형을 막을 수 있도록 하였다. 열분해 후 반응기로부터 유출되는 가스에는 미세한 유동층 입자, coke, dust 등이 포함되어있다. 이러한 입자들을 제거하기 위하여 aero-cyclone과 hot filter를 사용하였다. Aero-cyclone에서는 약 10마이크론 이상의 입자를 제거하도록 설계하였으며 hot filter에서는 1 마이크론의 입자까지 제거하도록 설계하였다. Hot filter는 800°C 이상의 고온에서도 손상되지 않는 세라믹 필터를 사용하였고, 또한 열분해 가스 중에 포함되어있는 상온에서의 액상성분이 filter를 통과하면서 응축되지 않도록 외부 가온하여 350°C 이상 유지되도록 하였다. Char 분리장치를 거쳐 나온 가스 상 물질을 응축시키기 위한 장치로 heat exchange, intensive cooler를 사용하였다. Heat exchanger는 일반 수도물을 냉각수로 사용하여 상온으로 냉각을 시키는 역할을 한다. Heat exchanger를

거친 가스는 intensive cooler를 거쳐 급속냉각이 되는데 냉각 매체로는 에틸알코올을 사용하였으며 온도는 -20°C를 유지하였다. 응축장치 하부에는 gas phase 중에서 응축된 성분을 받을 수 있도록 oil-tank를 설치하였다. Intensive cooler 후단에 electro filter를 설치하여 저온에서 응축되지 못한 가스 상 물질내의 tar를 제거하였다.

2.3. 열분해 운전조건 결정

본 열분해 실험에 들어가기 전에 기초 실험으로 TGA (Thermogravimetric Analysis) 분석을 행하였다. 이는 각 온도별로 벗짚의 무게 감률이 어떻게 일어나는지를 살펴보기 위한 실험인 동시에 반응온도를 결정하는 실험이다. Fig. 2와 Fig. 3은 실험에 사용한 벗짚의 TGA 및 DTG 곡선이다. 실험 결과 벗짚의 열분해 반응은 약 100°C 이하에서 전체 질량의 약 4~5% 정도가 초기에 분해되며, 이 때 중량 감소는 수분 증발에 의한 것이고 100~140°C에 이를 때까지는 거의 질량 감소가 없음을 알 수 있다. 이후 약 140~320°C 온도 범위에서

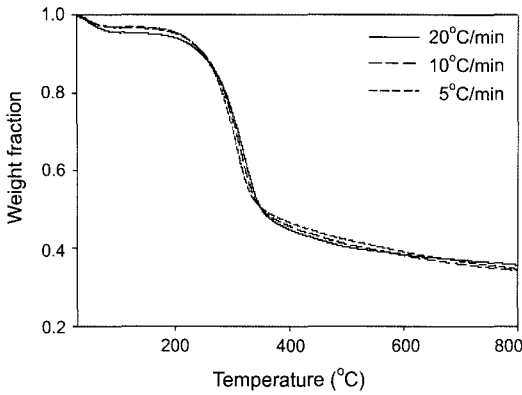


Fig. 2. TGA curves of rice straw at 5, 10, and 20°C/min.

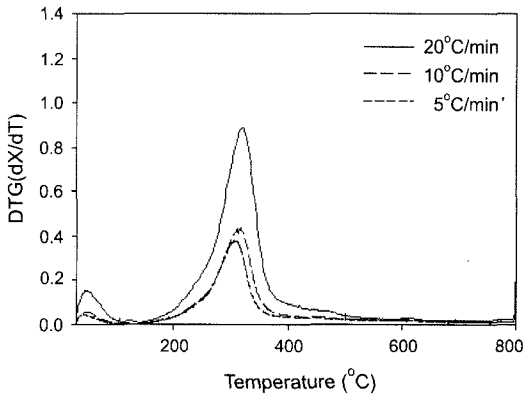


Fig. 3. DTG curves of rice straw at 5, 10, and 20°C/min.

급격한 질량 감소가 나타나며 최종적으로 초기량 대비하여 30~40%정도가 잔류물질로 남는다. 특히 DTG 곡선에서 알 수 있듯이 140~380°C 분해 구간에서 단일 피크가 나타나며, 이 구간에서 볏짚의 급격한 분해가 일어나고 있음을 반증하고 있다.

본 실험에서는 TGA, DTG 자료와 다른 기존의 문헌을 토대로 하여 반응 온도를 설정하였다. 볏짚의 열분해를 위해 lignin의 분해 온도가 중요하며 TGA 데이터에서 알 수 있듯이 약 600°C 부근에서 상당량의 lignin이 분해 된다. 본 실험에서도 이를 반영하고 에너지 효율을 감안하여 580°C부근의 온도를 실험온도로 채택하였다. 반응 최저온도는 cellulose성분이 완전 분해되고 lignin의 분해 속도도 왕성히 일어나는 온도인 약 450°C 부근을 설정하였다.

Table 2는 열분해 공정상에서의 실험 조건을 나타냈다. 각 실험의 feed rate는 300 g/h 였으며 유동층 bed

Table 2. Conditions of lab-scale experiments.

	RUN1	RUN2	RUN3
Temperature(°C)	466	504	579
Input(g)	200	200	200
Duration(min)	40	38	42
Feed rate (g/h)	300	315	286
Flow rate (NL/min)	30	28	26

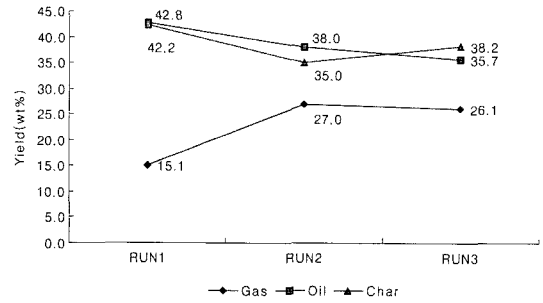


Fig. 4. Product distribution with temperature.

material 인 모래의 크기는 약 0.4 mm 였다. 각 실험에서의 유량은 반응기내에서의 생성 가스의 체류시간을 일정하게 유지시키기 위해 고온에서는 그 양을 조금씩 줄여 실험을 행하였다. 가스의 반응기내의 체류시간은 대략 1초에 달했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Mass balance

볏짚의 열분해 실험에서 생성물의 분포는 반응온도, 반응시간, 유동매체의 종류 등 다양한 요인들에 의해서 달라진다. 본 실험에서는 온도에 변화에 따른 생성물의 특성을 보고자 하였다. 볏짚의 열분해 실험결과 Fig. 4. 와 같은 결과를 얻었다. 열분해 온도가 높아질수록 가스의 생성량이 증가하였으며 오일의 양은 감소하였다. Char 생성량의 변화는 일정한 경향을 보여주진 못했다. 최대 바이오오일의 생성량은 약 43%를 나타냈다. 열분해 온도가 높아질수록 가스의 발생량이 증가하는 것은 유기물질의 2차 반응에 의한 것이다.⁸⁾ 볏짚을 열분해해서 얻은 바이오오일은 다른 많은 목재 실험 결과를 비교했을 시, 그 생성량이 적게 나타났는데 이는 목재보다 유기물질이 적게 포함되어 있기 때문이며 ash 성분 많은 양의 금속물질이 반응 중 촉매 작용을 하여 오일 성분을 가스 성분으로 전환하기 때문이다.

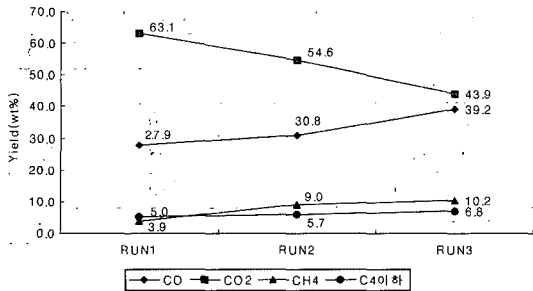


Fig. 5. Gas composition with respect to reaction temperature.

3.2. 가스

Fig. 5는 생성가스의 주성분들의 발열량을 나타내었다. 각각의 실험에서 생성된 가스는 CH₄, CO, CO₂와 ethene과 ethane 같은 hydrocarbon으로 구성되었다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 온도가 상승할수록 CH₄, C₄ 이하의 hydrocarbons 및 CO의 발열량이 증가하였고 그와 반대로 CO₂의 생성량은 감소하였다. 즉 온도가 높은 영역에서 생성된 가스는 발열량이 높아 반응 시스템의 보조연료로 사용 가능함을 보여주고 있다.

3.3. 바이오오일

실험결과 회수한 바이오오일은 물이 풍부한 상등액과 tar가 주성분인 하등액으로 상분리가 되었다. 이 후의 모든 분석은 각 상에 대하여 이루어졌으며 본 결과는 Table 3에 나타나 있다. 상등액의 수분함량은 81 wt%에서 88 wt%까지 나타났다. 상등액의 높은 산소 함유량 및 높은 pH는 상등액이 함유하는 높은 수분량에 기인된다. 바이오오일의 발열량은 원소 분석 결과를 이용하여 Dulong 식으로 계산하였으며, 그 결과 상등액은

3 MJ/kg에서 4.6 MJ/kg의 발열량을 보였으며, 하등액은 92 MJ/kg에서 95 MJ/kg의 열량을 보였다. Mass balance를 고려해 보면 바이오오일은 약 16 MJ/kg에서 20 MJ/kg의 발열량을 가지고 있고, 또한 황을 포함하고 있지 않으므로 연료로서는 환경 친화적이다. 다만 수분을 많이 함유하고 있으므로 보일러류 대체용 등 제한된 곳에만 사용이 가능할 것으로 사료된다.

바이오오일의 정성적 분석을 위해 GC-MS장치를 이용하였다. 정확한 정량적 분석은 바이오오일의 다양한 극성과 기존 MS library의 데이터 부족에 의한 불완전한 정성적 분석 데이터 때문에 불가능하여, 단지 MS의 TIC를 이용하여 정량적 분석의 수치를 표시하였다. Table 4는 바이오오일의 GC-MS분석결과를 나타낸 것이다. 분해된 성분에서 polysaccharide의 분해 산물과 lignin의 분해 산물이 확인 되었다. 또한 정성분석에서 하등액 성분들이 비교적 적은 것은 하등액이 주로 GC로 분석이 어려운 분자량이 큰 물질로 구성되어 있음을 반증한다. TIC를 통한 상대적 정량적 분석에서 특히 두드러지는 점은 온도가 상승할수록 phenol과 alkylated phenol류의 함량이 증가하는 것이다. 이는 phenolate ion의 resonance structure에 의한 안정성으로 인해 고온에서 더 이상 분해 되지 않고, 또한 고온에서의 lignin의 활발한 분해로 인해 생성되는 phenol류의 증가에 기인한 것으로 보인다. 이러한 phenol류 들은 차후 phenol 수지의 제조에 이용될 수 있을 것이다.

3.4. Char

Char의 원소분석결과 생성된 char는 주로 탄소로 구성되어 있음을 알 수 있다. 원소분석을 이용하여 발열량을 계산한 결과 운전조건에 따라 17 MJ/kg에서

Table 3. Characteristics of the bio-oil.

Elemental analysis(wt%)	RUN1		RUN2		RUN3	
	상등액	하등액	상등액	하등액	상등액	하등액
C(wt%)	10.66	64.30	7.00	65.22	6.07	68.76
H(wt%)	10.92	7.85	10.89	6.98	3.52	6.97
N(wt%)	0.30	2.45	0.26	2.39	1.31	3.69
O(wt%)	78.12	25.40	81.85	21.28	89.10	20.58
S(wt%)	0	0	0	0	0	0
Heating value(MJ/kg)	4.624	26.980	3.128	92.620	-	95.739
Moisture(wt%)	81.6	-	88	-	86.8	-
pH	4.08	-	4.44	-	4.40	-

Table 4. Compound identified by GC-MS in bio-oil.

Compound	RUN1		RUN2		RUN3	
	상등	하등	상등	하등	상등	하등
Phenol	3.48	1.19	7.63	4.21	8.12	5.36
2-ethyl-Phenol	-	-	0.41	0.43	0.44	-
2-methoxy-Phenol	3.36	-	2.34	0.86	0.35	-
2-methoxy-4-methyl-Phenol	0.92	-	0.69	0.79	-	-
2,6-dimethoxy-Phenol	2.18	-	1.1	1.39	-	-
2-methyl-Phenol	1.26	0.52	1.85	1.91	1.82	1.78
2,5-dimethyl-Phenol	-	-	0.39	-	-	-
2,4-dimethyl- Phenol	0.61	-	-	0.72	0.63	-
4-methyl-Phenol	-	1.13	-	-	-	-
3-methyl-Phenol	2.64	-	4.31	4.48	3.96	6.49
3,5-dimethyl-Phenol	-	-	0.4	-	-	-
4-ethyl-Phenol	0.9	0.86	1.32	4.44	0.89	5.71
2,3-dimethyl-Phenol	-	-	0.24	0.79	0.24	-
2,4,6-trimethyl-Phenol	-	-	-	0.34	-	-
2,6-dimethyl-Phenol	-	-	0.18	0.32	0.22	-
3-Ethylphenol	0.61	-	0.62	1.37	0.46	2.28
3-Methyl-5-ethylphenol	-	-	-	0.19	-	-
4-ethyl-3-methyl-Phenol	-	-	-	0.58	-	-
2-Methoxy-5-methylphenol	-	-	-	-	0.13	-
4-ethyl-2-methoxy-Phenol	1.17	-	-	-	-	-
2-methoxy-4-(1-propenyl)-(E)-Phenol	-	-	-	0.41	-	-
2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-Phenol	0.06	-	0.02	-	-	-
2-Methoxy-4-vinylphenol	1.88	0.68	0.59	2.83	-	-
2-methoxy-Benzeneethanol	-	-	0.94	1.27	-	-
2-hydroxy-3-methyl-2-Cyclopenten-1-one	6.05	-	5.2	0.43	2.66	-
2-Cyclopenten-1-one	2.25	-	-	-	1.7	-
2-methyl-2-Cyclopenten-1-one	2.37	-	2.57	0.37	2.54	-
2,3-dimethyl-2-Cyclopenten-1-one	-	-	-	0.54	1.15	-
3-methyl-2-Cyclopenten-1-one	2.53	-	2.6	0.86	1.11	-
3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	1.38	-	1.08	0.19	0.87	-
2-methyl-1,4-Benzenediol	-	-	0.59	0.62	1.03	6.86
1,2-Benzenediol	3.13	-	3.32	0.59	3.2	8.75
4-methyl-1,2-Benzenediol	-	-	1.47	0.55	1.6	5.69
3-methyl-1,2-Benzenediol	-	-	-	-	0.97	3.95
2,6-dimethyl-1,4-Benzenediol	0.23	-	0.21	-	0.39	-
4-ethyl-1,3-Benzenediol	-	-	0.14	0.64	-	9.53
2-ethyl-Pyridine	0.18	-	0.22	-	0.19	-

Table 4. Continued.

Compound	RUN1		RUN2		RUN3	
	상등	하등	상등	하등	상등	하등
Pyridine	0.51	-	0.7	-	0.87	-
2,4-dimethyl-Pyridine	0.29	-	-	-	0.51	-
2,6-dimethyl-Pyridine	-	-	0.68	-	0.26	-
2,4,6-trimethyl-Pyridine	-	-	0.06	-	0.03	-
4-methyl-Pyridine	-	-	0.35	-	-	-
3-methyl-Pyridine	0.45	-	-	-	0.74	-
2-methyl-Pyridine	-	-	0.8	-	1	-
2,3-dimethyl-Pyridine	0.17	-	0.24	-	-	-
3,5-dimethyl-Pyridine	-	-	0.54	-	-	-
2,3,6-Trimethylpyridine	-	-	0.09	-	-	-
4-hydroxy-3-methoxy-Benzaldehyde	0.55	-	0.32	-	0.1	-
4-hydroxy-3,5-dimethoxy-Benzaldehyde	0.04	-	-	-	-	-
2,3,5-trimethyl-Furan	-	-	-	-	0.37	-
5-methyl-2(5H)-Furanone	0.43	-	0.44	-	0.14	-
5-methyl-2(3H)-Furanone	0.54	-	-	-	-	-
2-Furanmethanol	-	-	0.83	-	0.23	-
5-methyl-2-Furancarboxaldehyde	2.83	-	3.35	-	3.2	-
1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-Ethanone	0.23	-	0.07	-	-	-
1-(2-furanyl)-Ethanone	0.85	-	1.31	0.16	1.46	-
1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-Ethanone	0.15	-	0.1	-	-	-
5-(hydroxymethyl)-2-Furancarboxaldehyde	0.56	-	-	-	-	-
4,4'-bis-(1-methylethylidene)	-	0.49	-	-	-	-
2,3-dihydro-1H-Inden-1-one	-	-	-	-	0.72	-
3-Hydroxy-2-methyl-4h-pyran-4-one	0.35	-	0.25	-	-	-
Cyclopentanone	-	-	-	-	0.9	-
3-methylphenyl ester Acetic acid	-	-	-	-	0.08	-
Hydroquinone	-	-	-	-	-	3.97
Azulene	-	-	-	0.37	-	-
4-(1-methylethyl)-2-Cyclohexen-1-one	-	-	0.16	-	0.16	-
2H-Pyran-2-one	-	-	0.1	-	0.24	-
2,3-Dimethylhydroquinone	0.34	-	0.16	-	-	-
Pyrocatechol diacetate	-	-	-	-	0.16	-
4-Ethylcatechol	0.75	-	0.71	-	1.08	-
2,5-Dimethylhydroquinone	-	-	-	-	0.09	-
3-Ethyl-3-hexene	-	-	0.27	-	-	-
1,4-Dihydrophenanthrene	0.23	-	-	-	-	-

19 MJ/kg의 발열량이 나타났다. 이들 char는 가스 흡착제로서 이용 가능할 것으로 보인다. Table 5에 char의 원소분석결과 및 발열량을 나타내었다.

Table 5. Characteristics of char.

Elemental analysis(wt%)	RUN1	RUN2	RUN3
C(wt%)	88.69	84.44	80.56
H(wt%)	3.88	2.87	3.40
N(wt%)	1.57	1.41	1.37
O(wt%)	5.85	11.28	14.68
S(wt%)	0	0	0
Heating value(MJ/kg)	17.351	19.334	18.749

4. 결 론

고품질의 바이오오일을 얻기 위하여 본 연구에서는 유동층 반응기를 사용하였으며, char 제거를 위하여 cyclone과 hot filter를 사용하였다. 그 결과 바이오오일을 최대로 얻을 수 있는 온도는 450°C 에서 500°C사이 인 것을 알 수 있었다. 본 실험에서 얻어진 바이오오일은 보일러 대체용 연료로 사용이 가능해 보이며 다른 연료들과 혼합하여 사용하는 것도 고려해 볼 수 있을 것이다. 또한 바이오오일에는 황 성분이 없기 때문에 SOx같은 환경오염물질의 배출을 막을 수 있다. GC-MS 분석을 통해 바이오오일의 성분을 분석한 결과 phenol과 alkylated phenol류, cyclopenten류, diol류, pyridine류 등의 다양한 화학물질이 생성되었고, 특히 온도가 상승 할수록 phenol과 alkylated phenol류, cyclopenten의 함량이 증가하였다. 이는 정제나 추출을 통해 화학물질 원료로서 사용이 가능하다는 것을 보여준다. 생성 가스는 대부분 CO, CO₂와 CH₄로 구성되었다. CO, CH₄와 다른 가스성분은 열분해 온도가 높아질수록 생성량이 증가하는 것으로 나타났다. Char의 고위발열량은 17 MJ/kg에서 19 MJ/kg로서 에너지원 및 가스 흡착제로서의 사용을 고려해 볼 수 있다.

사 사

이 논문은 2004년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. American Chemical Society, 1981: Biomass as non fossil fuel source, ACS Symposium series 144, ISB 0-8412-0599-x, American Chemical Society, pp564.
2. Peter M., 2002: Energy production from biomass (part1) overview of biomass, Bioresource Technology, **87**, pp. 37-46.
3. Whittaker R. H. and Likens G. E., 1975: Primary productivity of the biosphere, H, Leith and R. H. Whittaker, (Eds.), Springer, Verlag, New York.
4. Hohenstein W. G. and Wfight L. L., 1994 : Biomass energy production in the United states an overview, Biomass and Bioenergy, **6**(3) pp.161-173.
5. Dti/ETSU, 2000: Establishing biomass heating in the UK. Phase 2.
6. Klass, D. L., 1993: Fossil fuel consumption and atmospheric CO₂, Energy Policy **21**(11), pp.1076-1078.
7. American Chemistry Society, American Institute of Chemical Engineers, Chemical Manufactures Association, Council for Chemical Research, and Synthetic Organic Chemical Manufactures Association, 1996: Technology vision 2000, American Chemical Society, Washington, D.C.
8. Bradbury A. G. W., Sakai, Y. and Shafizadeh, F., 1979: J. Appl. Polym. Sci. **23**, pp. 3271.

姜 普 盛

- 2003년 서울시립대 환경공학부 학사
- 2005년 서울시립대 환경공학부 석사

朴 榮 權

- 1992년 KAIST 화학공학과 공학사
- 1994년 KAIST 화학공학과 공학석사
- 1999년 KAIST 화학공학과 공학박사
- 1999-2002년 현대중공업 산업기술연구소 선임연구원
- 현재 서울시립대 환경공학부 조교수

金 周 植

- 1989년 서울대학교 섬유공학과 공학사
- 1991년 서울대학교 섬유공학과 공학석사
- 1997년 Univ. of Hamburg 화학과 Dr. rer. nat.
- 1999-2001년 Unive. of Erlangen Postdoctorate
- 2001-2002년 KIST-europe Guest Researcher
- 현재 서울시립대학교 환경공학부 조교수