

요약

3kg/h를 처리할 수 있는 유동층 반응기를 설계, 제작하여 대기압, 질소분위기, 773K에서 *Pterocarpus indicus*, *Cunninghamia laneolata*, *Fraxinus mandshurica*, 벚짚등을 원료로 사용하여 바이오 오일을 생산하였다. 최적 바이오 오일은 *P. indicus*를 사용했을때 얻어졌고 벚짚을 사용했을때 품질이 가장 안좋았다. 이들 데이터를 사용하여 20kg/h를 처리할 수 있는 반응기를 다시 설계하였다. 그리고 공업적 대량생산을 위하여 생산단가를 추산하였다. 생산된 바이오 오일의 품질은 좋지 않았다. 그리고 고부가가치의 생산물과 에너지를 가질 수 있도록 적절한 조합이 필요하다.

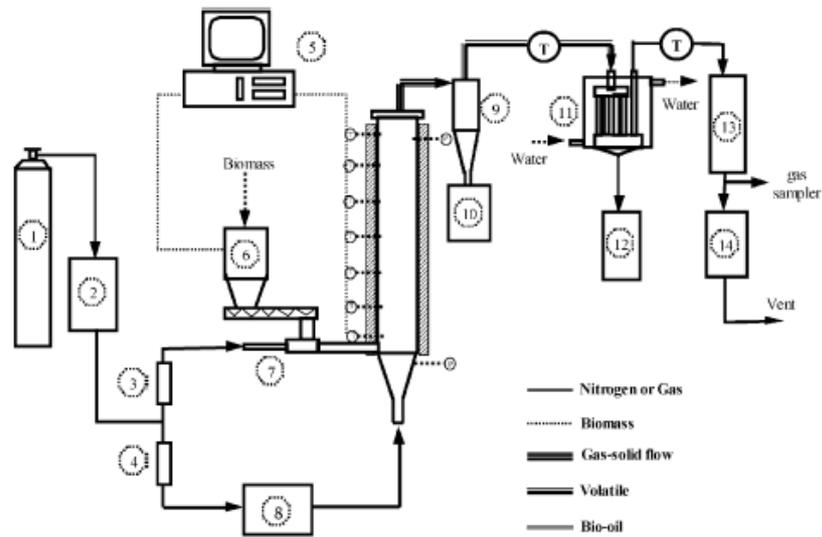
1. 서론
2. 저장지역의 현재 에너지 수급현황

Table 1  
Energy balance of Zhejiang in 1996 (physical quantity)

	Coal total (10 <sup>4</sup> t)	Petroleum products total (10 <sup>4</sup> t)	Electricity (10 <sup>8</sup> kW h)	Heat (10 <sup>10</sup> kJ)	Coke (10 <sup>4</sup> t)	Other energy (10 <sup>4</sup> tce)
<b>Total primary energy supply</b>	4593.81	731.20	105.55		60.74	11.29
Indigenous production	122.65		74.57			
Recovery of energy		0.16				11.29
Moving in from other provinces	4679.06	689.73	41.80		75.73	
Import	0.58	360.66				
Sending out to other provinces (-)	-170.00	-209.84	-10.82		-16.80	
Export (-)		-140.78				
Stock change	-38.48	31.27			1.81	
<b>Input (-) &amp; output (+) of transformation</b>	-2252.18	-90.46	373.79	3998.30	66.77	-11.29
<b>Loss (-)</b>	-16.85	-1.75	-39.29	-162.80		
<b>Total final consumption (-)</b>	-2321.87	-641.19	-440.08	-3835.50	-127.58	
<b>Statistical difference</b>	2.91	-2.20			-0.07	

3. 저장대학에서 바이오오일 생산을 위한 바이오매스 열분해에 관한 연구 현황

3.1 열분해 시스템 현황



1 Nitrogen bottle 2,14 Accumulative flowmeter 3,4 Flowmeter 5 Monitor 6 Hopper 7 Feeder  
8 Nitrogen pre-heater 9 Cyclone 10 Char collector 11 Quencher 12 Bio-oil Collector 13 Filter

Fig. 1. Fluidized bed reactor system for fast pyrolysis of biomass.

### 3.2 실험결과 및 토론

Table 2  
Biomass analyses

	Water (%)	Ash (%)	Volatile (%)	Fixed carbon (%)	Heating value (kJ/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
<i>F. mandshurica</i>	1.85	3.58	76.9	17.9	20,200	48.3	5.95	0.18	0.19	40.1
<i>C. lanceolata</i>	3.27	0.74	81.2	14.8	19,200	46.5	6.04	0.17	0.12	43.1
<i>P. indicus</i>	1.96	0.44	79.3	18.4	20,500	49.1	5.98	0.22	0.12	42.3
Rice Straw	3.61	12.2	67.8	16.4	16,400	40.3	5.55	1.02	0.15	37.3

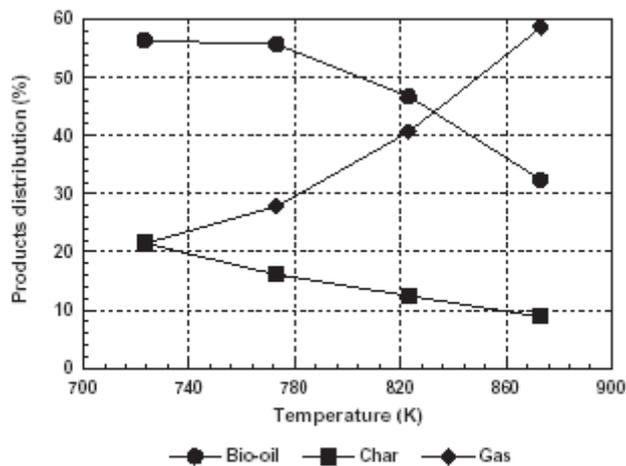


Fig. 2. Products distribution with temperature (*P. indicus*, 250-355 μm).

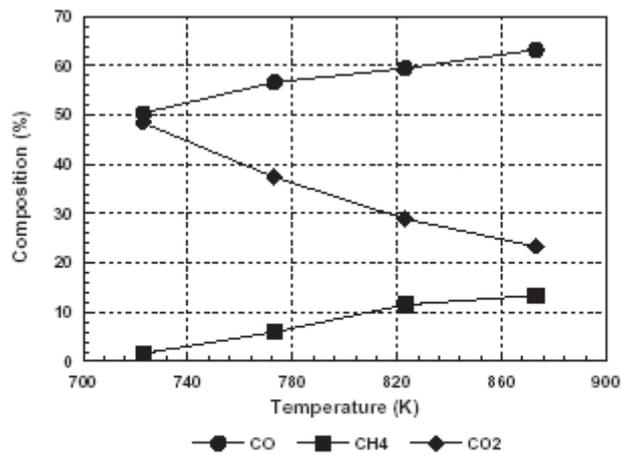


Fig. 3. Incondensable gas composition with temperature (*P. indicus*, 250–355 μm).

### 3.3. 바이오 오일 분석

Table 3  
Effect of biomass species on bio-oil production

Biomass species	Temperature (K)	Particle size (μm)	Yield (%)	Heating value (kJ/Kg)	Water <sup>a</sup> (%)
<i>F. mandshurica</i>	823	74–154	40.2	22,000	39.6
<i>C. lanceolata</i>	773	74–154	53.9	19,000	31.4
<i>P. indicus</i>	773	250–355	55.7	19,000	24.6
Rice Straw	773	154–250	33.7	19,000	53.5

<sup>a</sup>Analyzed by Karl Fischer method. Water in bio-oil could not separated from organic compounds easily.

Table 4  
Relative content of main compounds in organic composition of  
bio-oil produced from *P. indicus*

Compound	Relative content (%)
Furfural	9.06
Acetoxyacetone, 1-hydroxyl	1.21
Furfural, 5-methyl	1.82
Phenol	2.55
2-Cyclopentane-1-one, 3-methyl	1.58
Benzaldehyde, 2-hydroxyl	2.70
Phenol, 2-methyl	5.04
Phenol, 4-methyl	0.51
Phenol, 2-methoxyl	0.27
Phenol, 2,4-dimethyl	9.62
Phenol, 4-ethyl	2.18
Phenol, 2-methoxy-5-methyl	4.15
Phenol, 2-methoxy-4-methyl	0.55
Benzene, 1,2,4-trimethoxyl	3.80
Phenol, 2,6-dimethyl-4-(1-propenyl)	4.25
1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	1.80
2-Furanone	5.70
Levogluconan	6.75
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-propenyl	3.14
Furanone, 5-methyl	0.49
Acetophenone, 1-(4-hydroxy-3-methoxy)	2.94
Vanillin	6.35
Benzaldehyde, 3,5-dimethyl-4-hydroxyl	4.54
Cinnamic aldehyde, 3,5-demethoxy-4-hydroxyl	2.19

### 3.4. 저장대학에서 개발된 새로운 열분해 시스템

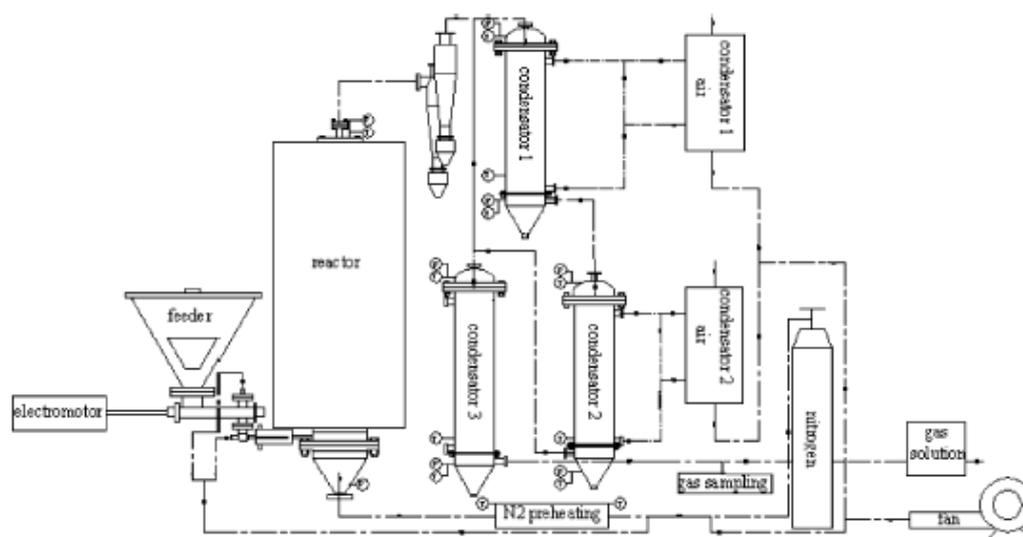


Fig. 4. New fast pyrolysis system at the feed rate up to 20 kg/h.

#### 4. 기술-경제적 평가

Table 5  
Basic data for techno-economic evaluation

No.	Item	Unit	Value
1	Construction period	year	0.5
2	Service life	year	15
3	Calculation period	year	15.5
4	Bio-oil output	t/year	430
5	Char output	t/year	70
6	Sawdust consumption	t/year	730
7	Power consumption	kWh/year	403000
8	Water consumption	m <sup>3</sup>	880
9	Depreciation rate	%	6
10	Maintain rate	%	2
11	Worker number		2
12	Annual wages per person	Yuan	10000
13	Sawdust cost	Yuan/t	150
14	Power cost	Yuan/kWh	0.58
15	Water cost	Yuan/m <sup>3</sup>	1
16	Bio-oil price	Yuan/t	1200

Table 6  
Profit and loss statement (Yuan)

No. Item	Profit and loss per t bio-oil	Annual profit and loss
1 Feed stock	-254.7	-109500
2 Water	-2.0	-880
3 Power	-543.6	-233740
4 Manpower	-46.5	-20000
5 Maintain	-61.2	-26300
6 Depreciation	-183.5	-78900
7 Financial charge	/	/
8 Tax	/	/
9 Income	+1200	+516000
Sum	+108.5	+46680

Table 7  
Sensitivity analysis

	Vibration range (%)	IRR (%)	Fluctuation range of IRR (%)
Bio-oil price	-20	-90.30	-286
	-10	-1.10	-122
	0	5.00	0
	+10	10.20	104
	+20	14.90	198
Sawdust price	-20	7.30	46
	-10	6.20	24
	0	5.00	0
	+10	3.80	-24
	+20	2.60	-48

## 5. 결론

바이오매스 급속 열분해에서 생성된 액체는 디젤유같은 전통적인 액체연료를 대신할수 있다. 3kg/h의 원료를 처리할 수 있는 실험실 규모 연구를 수행한 결과, 773K에서 고품질의 바이오오일을 생산하였다. 또한 비응축 가스의 조성은 온도에 의존하였다. 고발열량 가스는 높은 온도에서 얻어졌다. 또한 고품질의 오일은 *P. indicus*로부터 얻어졌고 벗짚의 오일은 품질이 가장 안좋았다. 이는 많은 회분함량을 갖는 바이오매스일수록 오일의 품질이 나빠진다는 것을 의미한다. 그러나 고품질의 바이오 오일도 다양한 조성과 내부의 불안정성으로 인해 추가적인 개질이 필요하다. 대용량의 급속 열분해 시스템을 제조하였고 간단한 기술-경제성 분석을 실시하였다. 이는 미래의 바이오매스 응용에 있어서 중요하다.