

급속열분해(fast pyrolysis) 기술을 이용한 목질바이오오일 제조기술 동향

최연석, 김석준, 최항석 | 한국기계연구원

1. 서론

현재 세계 각국은 지구온난화에 의한 기후변화의 피해를 막기 위해서 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지의 개발에 많은 노력을 하고 있으며, UN에서도 지구온난화 방지를 최우선 중점사업으로 추진하고 있다. 신재생에너지는 수소, 연료전지, 석탄가스화와 같은 신에너지와 태양에너지, 풍력, 수력, 폐기물, 해양, 바이오매스 및 지열과 같은 재생에너지가 있으며, 근래에 세계적으로 나무를 이용하여 신재생에너지를 생산하는 목질바이오매스 분야가 매우 활발한 움직임을 보이고 있다.^[1] 특히, 산림자원이 많은 북유럽 국가들과 북미에서 바이오매스에너지 개발이 매우 활발하며 스웨덴의 경우는 2030년까지 국가에너지 전량을 바이오매스 에너지로 전환하는 것을 목표로 하고 있다. 목질 바이오매스는 연소 시 배출하는 이산화탄소량과 성장과정에서 광합성으로 흡수하는 이산화탄소량이 동일하므로 이산화탄소중성(carbon neutral)이 되고, 따라서 대기 중 이산화탄소 농도를 증가시키지 않고도 에너지를 얻을 수 있다.

목질바이오매스 연료는 우드칩(wood chip)이나 우드펠렛(wood pellet)과 같은 고체연료, 셀룰로오스를 발효시켜서 얻는 셀룰로오스에탄올(cellulosic ethanol)이나 바이오매스 고온열분해 합성가스를 Fisher-Tropsch반응시켜서 얻는 액상연료성분 및 급속열분해를 통해 생성되는 바이오오일(bio-oil) 등의 액체연료, 고온 열분해하여 가스(bio-gas)로 변환시킨 기체연료가 있다. 목질고체연료의 사용은 인간이 불을 사용하기 시작한 이래로 현재까지 사용되고 있는 전통기술이며, 근래에 가정용 연료로서 사용시 자동화가 가능하도록 일정한 모양으로 가공한 우드펠렛과 전용 스토브가 유럽을 중심으로 크게 확산되고 있다.^[2] 목질기체연료의 사용은 목질바이오매스를 고온 열분해하여 가스로 변환한 후 보일러 연소를 통해 열병합발전을 하는 기술이 유럽 여러나라에서 상용화되어 있다.

목질액체연료는 1970년대 오일쇼크 후 석유대체오일을 생산할 목적으로 연구가 되어 왔으나 이 후 오일쇼크 영향이 줄어들음에 따라 연구도 줄어들었고 상용화에 이르지 못했다.^[3] 그런데 근래에 신재생에너지로서 바이오매스연료의 우수성이 새롭게 인식됨에 따라서 세계 각국에서 연구가 재개되었고 현재 빠른 속도로 기술개발이 이루어지고 있다. 그러나 연구개발 기간이 오래되지 않았으므로 아직까지는 세계적으로 완전히 상용화된 기술은 없는 상태로서 현재 초급 기술은 상용화 진입을 준비하는 단계이고, 바이오오일의 수율을 높일 수 있는 고급기술은 여러 나라에서 실험실 규모의 연구가 다수 경쟁적으로 진행되고 있다. 셀룰로오스에탄올은 목질바이오매스에서 분리한 셀룰로오스를 가수분해를 통해 당으로 바꾼 다음에 미생물 발효시켜서 액체연료인 에탄올을 생산하는 기술

이고, 바이오오일은 목질바이오매스를 급속열분해 또는 고온고압 가수분해 등의 방법을 적용하여 생산한 증유와 비슷한 액체연료이다. 석유연료나 석유화학제품을 만드는 원유(crude oil)과 같이 목질바이오매스로 생산한 바이오매스원유(crude bio-oil)도 연료나 화학제품의 원료물질이 될 수 있기 때문에 근래에 새로운 바이오정유(bio-refinery)산업의 개념이 거론되고 있다.^[4]

현재 기술개발이 초기단계이고 원천기술 확보경쟁이 가속되고 있는 ‘급속열분해(Fast Pyrolysis)기술을 이용한 바이오오일 생산기술’에 관한 세계 여러나라의 기술개발 내용과 현황은 다음과 같다.

2. 본 론

2.1 각종 바이오매스의 변환기술

바이오매스는 표 1에서 처럼 목질계를 비롯하여 초목류, 해조류와 같은 수생식물, 유기성 슬러지, 가축분뇨, 식품폐기물 등 여러 종류가 있다. 목질계 바이오매스는 다른 바이오매스에 비해서 조직이 치밀하고 밀도가 높으며, 초목류는 비교적 목질계와 비슷한 편이다. 우뚝가사리나 다시마와 같은 수생식물은 조직이 덜 치밀하고 성분도 차이가 많다. 바이오매스를 에너지자원으로 변환시킬 경우에는 대상 바이오매스의 특성과 생산코자 하는 물질의 종류를 감안해서 적합한 기술을 적용해야 한다. 다음 표는 이와 같은 바이오매스별 적용기술의 관계를 나타낸 것이다.

표 1. 바이오매스의 종류와 변환기술의 관계

구 분			생성 에너지	바이오매스 종류							
				목질 계	초목 류	수생 식물	슬러 지	분뇨	식품 폐기 물	당· 전분	유지
열화학적 변환	직접연소	전소	열	○	○	○	○	-	○	-	-
		혼소		○	○	-	-	-	-	-	-
	가스화	고온가스화	가연성가스 (수소)	○	○	○	○	-	-	-	-
		수열가스화		-	○	○	○	○	○	-	-
	액화	급속열분해	액체 연료	○	○	○	○	-	-	-	-
		직접유화		○	-	○	○	○	○	-	-
		초임계 유체		○	○	○	○	-	-	-	-
	탄화	탄화	탄	○	○	-	-	-	-	-	-
		반 탄화	반 탄화연료	○	○	-	-	-	-	-	-
		슬러리연료화	슬러리연료	○	-	-	-	-	-	-	-
에스테르 변환	바이오디젤	바이오디젤	-	-	-	-	-	-	-	○	
생물학적 변환	메탄발효	습식	가연성가스 (메탄)	-	-	○	○	○	○	-	-
		건식		-	-	○	○	○	○	-	-
	에탄올 발효		에탄올	○	-	-	-	-	-	○	-
	수소발효		가연성가스 (수소)	-	-	○	○	○	○	-	-

구 분	생성 에너지	바이오매스 종류								
		목질 계	초목 류	수생 식물	슬러 지	분뇨	식품 폐기 물	당· 전분	유지	
생물학적 변환	아세트산 부탄올 발효	액체연료	-	-	-	-	○	-	○	-
	유산발효	유산	○	-	-	-	-	-	○	-
	퇴비화	퇴비	-	-	○	○	○	○	-	-
물리적 변환	펠릿화	펠릿	○	-	-	-	-	-	-	-
	보드화	보드	○	-	-	-	-	-	-	-

2.2 목질바이오매스의 화학적 조성

목질바이오매스는 석유나 석탄과 같은 일반 화석연료와 달리 산소가 많이 함유된 탄수화물 중합체로서 원소조성은 대개 탄소 50% 내외, 산소 45% 내외, 수소 5% 내외, 질소 1% 등이다. 목질바이오매스의 화학적 조성은 크게 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등으로 구성되며, 소량의 추출물도 존재한다. 주성분의 구성비율은 수종에 따라 다르지만 침엽수인 경우 셀룰로오스가 40 ~ 45%, 헤미셀룰로오스가 15 ~ 25%, 리그닌이 26 ~ 30%이며, 활엽수는 각각 38 ~ 49%, 22 ~ 34%, 16 ~ 25% 정도이다.

셀룰로오스는 섬유의 골격을 이루고 있는 주성분으로 수천개 이상의 사슬이 연결된 모양의 고분자 구조로 되어 있다. 셀룰로오스 단량체에는 3개의 수산기가 함유되어 있으며, 셀룰로오스의 수산기는 그림 1과 같이 인접한 다른 셀룰로오스 분자쇄의 수산기와 수소결합을 형성한다. 셀룰로오스는 약품에 대한 저항성이 매우 강해 대부분 펄핑 약품이나 표백 약품에도 녹지 않지만 강산에 의해서는 분해가 일어난다.

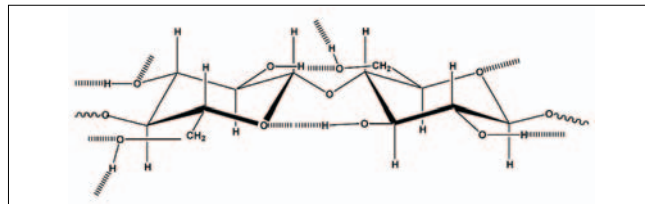


그림 1. 셀룰로오스 단량체 결합구조

헤미셀룰로오스는 그림 2와 같은 여러 종류의 탄수화물 복합체로 구성되어 있으며 화학적 조성이 셀룰로오스와 비슷하지만 분자량이 더 작다. 헤미셀룰로오스는 수분과의 친화력이 강하여 물에 의한 섬유의 팽윤성을 증가시켜 섬유의 유연성 및 이에 따른 섬유간 결합을 향상시키거나 직접 수소결합을 하기도 한다. 이 때문에 인장 강도나 파열강도 등 주로 섬유간 결합에 영향을 받는 강도를 증가시키나, 헤미셀룰로오스의 함량이 많을수록 인열강도는 저하된다.

리그닌은 목재의 화학적 구성성분 중 가장 복잡한 화합물로 아직까지 완벽하게 밝혀져 있지 않은 물질 중의 한 가지이다. 이는 그림 3과 같은 3종류의 페닐-프로판을 기본 단위로 하여 형성된 무정형의 복잡한 화합물로서 목재 세포와 세포를 서로 결합시키는 접착제 역할을 하며, 목재 세포를 강고하게 하는 역할을 한다.^[5]

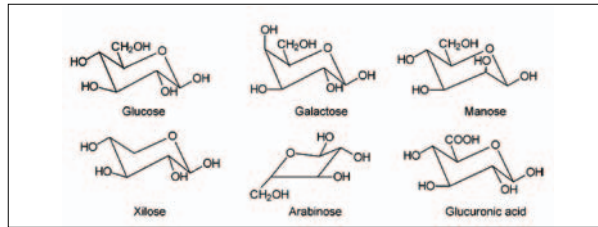


그림 2. 헤미셀룰로오스 주요 성분

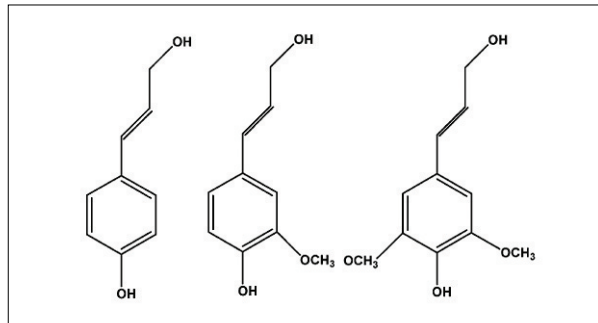


그림 3. 메톡시기에 따른 페닐-프로판 종류

2.3 목질바이오매스의 바이오오일화 기술

2.3.1 직접 가수분해액화법^{[6][7]}

CWT/Enertech Env. INC/Biofuel B.V. 합작기술인 직접가수분해액화(Direct Hydrothermal Liquefaction)는 물을 120 ~ 200bar의 높은 압력으로 가압하여 300 ~ 350°C 온도에서 액체상태를 유지시키면서 바이오매스와 직접 접촉시켜 바이오 오일을 얻는 공정을 개발하였다. 이러한 공정의 주 생산물은 산소성분이 10%정도 줄어든 유기성액체이고, 주요한 부산물로는 용해성 유기화합물이 포함되어있는 물이다.

2.3.2 급속열분해법

1970년대 중반부터 리그노-셀룰로오스 바이오매스로부터 액체연료를 생산하기 위한 연구가 시작되었고 그 결과로서 몇 가지 급속열분해의 기초기술이 개발되었다. 급속열분해는 표 2에 나타난 바와 같이 바이오오일의 수율을 가장 높일 수 있는 열분해기술이며, 탄화기술은 전통적으로 숯을 만들 때 사용하는 기술이고, 가스화기술은 바이오매스를 고온열분해하여 생성된 가스를 직접 연료로 이용하거나 또는 합성가스를 생산할 때 사용하는 기술이다.

급속열분해 기술은 탄화나 가스화 기술에 비해서 반응시간을 매우 짧게 유지시켜야 하는 정확성을 필요로 하는 기술이고 반응온도 폭도 비교적 좁은 편이다. 목질바이오매스가 반응기에서 급속열분해되면 기체상인 증기생성물, 에어로졸 및 비응축성 증기생성물이 만들어지고 고체상인 촉도 소량이 생성된다. 이 생성물들이 다음의 사이클론공정을 거치면서 촉가 제거되고 다음으로 냉각공정에서는 증기상생성물이 액상의 오일미스트로 변환되고 에어로졸은 응집됨으로서 바이오오일이 되며, 최종 생성된 바이오오일은 극성물질이므로 전기집진기에서 잘 포집된다.^[8] 이와 같은 일련의 반응공정으로 구성되는 목질바이오매스의 급속열분해 반응은 열전달, 물질전달, 화학반

응 및 상전이 현상이 복합적으로 진행된다. 바이오오일의 수율을 높이기 위해서는 반응계면에서 높은 열전달율이 필요하므로 재료의 크기를 작게 해야 하고, 반응온도를 500℃ 및 증기상 온도를 400 ~ 450℃ 정도에서 정밀하게 제어해야 한다. 그리고 생성물이 증기상으로 존재하는 시간은 약 2초 이내가 되도록 제어하고 증기는 짧은 시간내에 냉각시켜야 한다. 또한 최는 증기상 생성물을 분해하는 촉매 기능을 하므로 신속하게 분리제거하는 것이 필요하다.

표 2. 목질바이오매스의 열분해기술별 생성물 비율

기술	반응온도 ^[9] (℃)	반응시간 ^[6]	생성물 (%) -DB. ^[10]		
			오일	최	가스
급속열분해	400 ~ 600	2초 이내	75	12	13
탄화	350 ~ 450	수 시간	30	35	35
가스화	800 ~ 1,300	10초 ~ 30분	5	10	85

2.4 급속열분해 반응기 개발 현황

전술한 바와 같이 급속열분해에 관련되는 여러 제어요소는 반응기의 형상과 운영기술에 관계되므로 세계적으로 진행되고 있는 대부분의 연구가 고효율 급속열분해반응기를 개발하는데 초점을 맞추고 있다. 급속열분해반응기는 열전달매체인 유동사를 사용하는 반응기와 열전달매체를 사용하지 않는 반응기로 구분되는데, 각각의 종류 및 특징은 다음과 같다.

2.4.1 열전달매체 사용방식 반응기

- 미국의 ENSYN Co, 사는 그림 4와 같은 구조의 순환유동층(circulating fluidized bed)반응기를 개발하였고, 현재 50톤/일 규모의 상용화 플랜트를 위스콘신주에 소재하고 있는 Red Arrow Product사에서 가동 중에 있다. 이 회사는 이 반응기를 이용하여 식품용 혼제향을 생산하는데 이용하고 있다. 일반적으로 순환유동층 반응기는 대용량에 적합하지만 가스의 유속이 빨라서 최의 마모가 커지고 바이오오일속에 최 성분이 많아지는 단점이 있다.
- 캐나다 Dynamotive사는 그림 5와 같은 10톤/일 용량의 기포유동층(bubbling fluidized bed)공정을 개발하여, 이를 100톤/일 용량에 적용 중에 있다. 영국의 Wellman사도 동일한 기술로 250kg/hr 규모의 반응기를 개발하여 연구 중에 있다. 반응층에서 유동사의 밀도가 높기 때문에 바이오매스 입자로 열전달을 효과적으로 할 수 있고 유동층에 최가 축적되지 않으며 순환유동층반응기보다 구조가 간단하다. 그러나 최가 증기보다 오래 체류하고 증기 크래킹의 촉매로 작용하므로 최와 증기의 분리를 신속하게 하는 것이 중요하다. 또한 유동층의 높이/직경 비율이 작기 때문에 대형 반응기에서는 수평방향으로 온도와 농도의 구배가 생기기 쉽다.
- 네델란드 BTG사는 5톤/일 용량의 회전 콘 반응기(rotary cone reactor)를 개발하였고 50톤/일 상용규모의 반응기 개발을 진행하고 있다. 이 반응기는 그림 6과 같이 회전하는 콘에 유동사와 바이오매스를 아래쪽에서

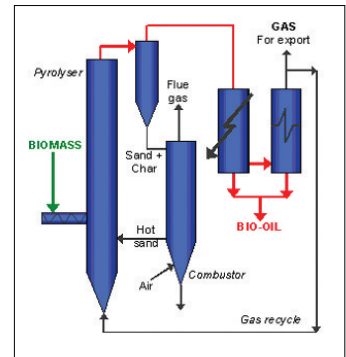


그림 4. 순환유동층 급속열분해반응기

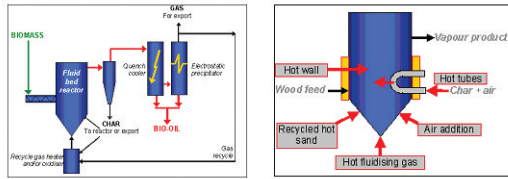


그림 5. 기포유동층 급속열분해 반응기

투입하면 유동사와 바이오매스는 기계적으로 유동화되고 가열된 콘의 벽을 따라 원형 궤적으로 위로 올라가면서 급속열분해가 일어난다. 급속열분해로 생성된 증기생성물은 위쪽에서 포집을 하고 유동사는 아래쪽으로 분리되어 재순환하게 된다. 유동사는 바이오매스에 열전달율을 증가시키기 위한 목적으로 사용된다.

- 미국 DOE(Department of Energy) 바이오매스 프로그램의 일환으로 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서는 그림 7과 같은 볼텍스(vortex)와 유동층 기술이 결합된 반응기를 개발하였다.^{[5],[6]} 이 반응기는 내부 사이클론에서 유동사와 목질바이오매스가 유입되고 전기가열된 유동층 반응기의 프리보드 영역에서 급속열분해가 일어난다. 가열된 반응기 벽에서 목질바이오매스가 원심력에 의한 압력으로 마찰되면서 열전달이 향상되고 용융효과가 생기는 구조이다. 증기생성물은 쉘칭과 전기집진 방식으로 포집한다.이 반응기의 유동화 영역은 $\phi 20\text{cm}$, 프리보드 영역은 $\phi 36\text{cm}$ 이고 총 높이는 1.8m이며 15-20kg/hr 규모이다. 그 외에 2중 스크류로 유동사를 유동과 이송을 하면서 급속열분해하는 기술이 알려져 있다.^[8]

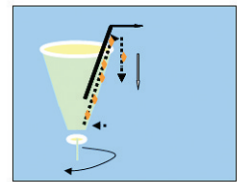


그림 6. 회전 콘 반응기 구조

2.4.2 열전달매체 미사용 반응기

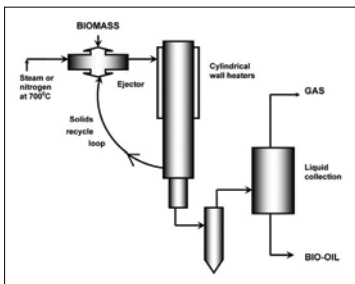


그림 7. 볼텍스 유동층 반응기 구조

- Aston 대학의 바이오에너지연구그룹에서 개발한 마찰회전판 반응기는 열전달매체와 열풍가스를 사용하지 않고 목질바이오매스를 급속열분해하는 장치이다. 구조는 그림 8과 같으며 고온으로 가열된 회전원판에 막대형의 목질바이오매스를 강한 압력으로 접촉시키면 고온의 접촉면에서 목질바이오매스는 용융상태로 되면서 분해되고 증기상 생성물이 발생된다. 이 기술을 무게 측정이 가능하고 회전판 크기를 증가시킨 구조로 재설계하여 Pytec사에서 12톤/일 규모의 반응기를 제작하였다. 증기생성물은 다른 기술과 같은 방법으로 쉘칭과 전기집진방식으로 포집한다.

- 그림 9는 Laval 대학에서 개발하고 캐나다 퀘벡주에 있는 Pyrovac사에서 50kg/hr 규모 파일럿 반응기를 제작하여 실험한 진공체인이송식 반응기이다.^{[9],[11]} 이 반응기는 다른 급속열분해 반응기에 비해서 열전달율은 작으므로 느린 열분해반응이지만 진공상태이므로 체류시간을 급속열분해와 비슷하게 할 수 있다. 반응 온도는 450°C 및 압력은 0.15기압 정도이다. 열 및 물질전달이 작기 때문에 바이오오일 수율이 낮은 것으로 알려져 있다.

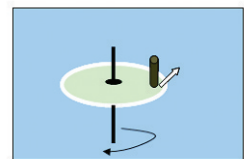


그림 8. 마찰회전판식 급속 열분해반응기

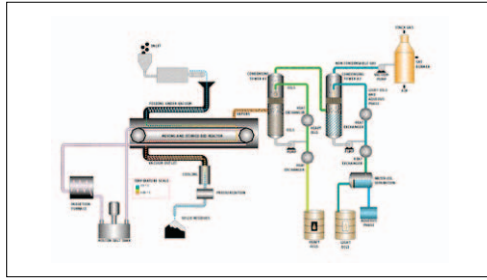


그림 9. 진공 이동베드식 반응기

이 외에도 최근에 미시시피대학에서 송곳형 반응기(auger reactor)를 개발하였고 Karlsruhe에서는 더블스크류 반응기를 개발한 것으로 알려져 있으나 연구 결과는 아직까지 발표되지 않고 있다. 이와 같이 세계 여러나라에서 다양한 형태의 신형반응기 개발이 계속되고 있고 분해메카니즘에 관한 연구도 진행되고 있으나 전반적으로 급속 열분해 기술은 아직까지 세계적으로 안정화된 상태가 아니며, 기술적으로 우수성이 확실히 입증된 상용화 플랜트가 없는 상태이다. 현재까지 개발된 대표적인 몇 가지 반응기의 특성에 대하여 표 3과 같이 정리되어 있다.^[12]

표 3. 급속열분해반응기 성능 비교

Property	Status#	Bio-oil wt%	Complexity	Feed size	Inert gas need	Specific size	Scale up
Fluid bed	Demo	75	Medium	Small	High	Medium	Easy
CFB	Pilot	75	High	Medium	High	Large	Easy
Entrained	None	65	High	Small	High	Large	Easy
Rotating cone	Pilot	65	High	V small	Low	Small	Hard
Ablative	Lab	75	High	Large	Low	Small	Hard
Vacuum	Demo	60	High	Large	Low	Large	Hard
White cells show desirable characteristics Dark grey cells show moderate characteristics Grey cells show undesirable characteristics				# Demo = demonstration (200 – 2000 kg h ⁻¹) # Pilot = pilot plant (200 – 200 kg h ⁻¹) # Lab = laboratory (1 – 20 kg h ⁻¹)			

2.5 촉 제거 기술

촉 제거 기술은 일반적으로 사이클론이 사용되어져 왔으나 사이클론은 미세입자의 포집에는 한계가 있으므로 증기생성물 포집액에는 항상 미세 촉가 포함되어 있고, 이 촉는 액체생성물의 노화를 가속화시키며 품질안정성을 저하시킨다. NREL과 VTT는 이를 개선하기 위해서 가스화기술에서 사용하는 고온가스필터기술과 비슷한 고온 증기필터(hot vapour filtration) 기술을 개발하였다.^[10] 이 기술은 촉 제거율은 매우 우수하나 필터표면에 촉가 축적되고 증기크래킹이 일어나므로 수율은 10 ~ 20% 감소하였다. Twente 대학은 유동층에 고온증기필터를 삽입하여 유동사가 필터표면에 축적된 촉를 마모시킴으로서 필터를 청소하도록 하였다. 이 기술은 필터가 유동장 내에 설치되므로 유동화의 동적 특성에 영향을 크게 미칠 것으로 예상되지만 연구 결과는 아직까지 발표되지 않았다. TNO는 열분해반응기 내부에 설치하는 회전식 입자분리기(rotary particle separator)를 고안한 것으로 알려져 있다. 그 외에 메탄올이나 에탄올과 같은 용매를 첨가함으로써 용해성이 적은 성분의 용해도를 향상시키고 품질안정

성도 향상시키는 방법도 가능한 것으로 알려져 있다.

2.6 바이오오일의 특성

바이오오일은 석유와 달리 산소성분이 무게비율로 40 ~ 50% 정도를 차지하고 있는 산소결합 탄화수소화합물로서 가장 많은 성분은 수분이고 다음으로 히드록시알데히드, 히드록시케톤, 당, 카르복시산 및 페놀류와 같은 탄화수소화합물로 구성되어 있다. 수분은 열량을 낮추는 단점이 있지만 바이오오일의 유동성은 향상시키는 장점도 있다. 바이오오일은 증류를 해도 35 ~ 50% 정도의 잔재물이 남는데, 이것은 연소전에 완전히 기화해야하는 사용처에서는 바이오오일을 사용할 수 없다는 것을 의미한다. 바이오오일의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 암갈색의 액체로서 독특한 연기향이 남
- 수분이 15 ~ 35% 정도 함유된 수용성 액체
- 유기산이 함유되어 있어서 pH 2.3 ~ 2.6 정도의 산성을 나타냄
- 밀도는 1.2kg/Liter 정도로 석유오일에 비해 매우 큰 편이고 따라서 무게 기준으로는 석유 오일에 비해 40% 정도의 에너지 밀도를 가지지만 부피기준으로는 60% 정도로 높아짐
- 원소 조성은 평균적으로 C : 57%, H : 6%, O : 40% N : 미량, 회분 : 최 함량에 비해하지만 미량
- 고위발열량 : 수분 25%일 경우에 약 4,300kcal/kg
- 점성은 40℃, 수분 25%일 때 50cP 정도이지만 시간이 지남에 따라 점성이 커지고 원료 목질바이오매스의 특성과 함수율, 빛 등에 따라서 35 ~ 1,000cP 정도로 크게 차이가 남
- 메탄올이나 아세톤과 같은 극성용매와 혼합되고 점성도 감소되지만 석유오일과는 혼합되지 않음

목질바이오매스를 바이오오일로 전환하면 밀도가 커지므로 저장성과 수송성이 크게 향상된다. 그림 10은 1 MJ 열량을 가진 목질바이오매스와 동일한 열량의 바이오오일을 메스실린더에 넣고 부피를 비교한 것으로서 바이오오일의 부피가 약 1/6로 줄어든다.^[13]

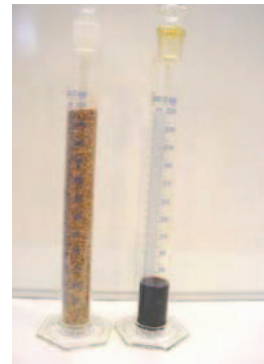


그림 10. 목재 칩과 바이오오일

2.7 바이오오일 이용기술

급속열분해로 생산된 바이오오일은 그림 11과 같이 크게 에너지원과 화학물질 원료로 사용될 수 있다.

2.7.1 바이오오일 연료로 이용

- 생산된 바이오오일을 이용하는 기술도 연구가 진행되고 있는데, 미국 등지에서 바이오오일을 보일러, 용광로, 발전을 위한 엔진 및 터빈 등의 연료로 직접 사용하고 있다. 수년 동안 연구실 실험을 거쳐서 1.4MW급의 Dual Fuel Diesel Engine에서 바이오오일을 연료로 해서 500시간 정도의 연속운전을 성공한 사례도 있다. 한편, 바이오오일을 사용하여 250kW급의 Dual Fuel Diesel Engine을 400시간 정도 운전 중이며, 2.5MW급의 가스엔진을 변형하여 바이오오일을 연료로 사용하고 있으며, 모든 테스트가 현재까지는 성공한 것으로 보고 되어 있다. 이외에도 미국, 독일 등에서는 바이오오일의 개질화를 통해 디젤유 수준의 품질을 달성한 것으로 알려지고 있다.

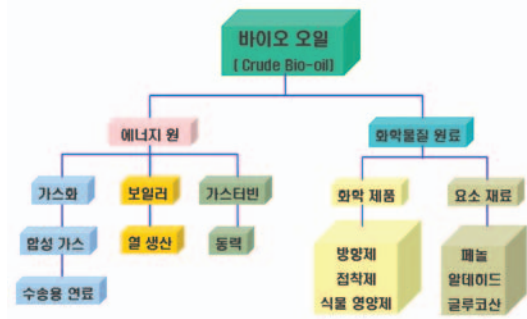


그림 11. 바이오오일 활용분야

2.7.2 화학제품 생산원료로 이용

과거 수세기 동안 목재 열분해액은 메탄올, 아세트산 등 여러 화학물질의 원료로 사용되어 왔으나 현재는 천연가스, 석유 및 석탄 등에서 저렴하게 생산을 하고 있다. 목질바이오오일의 구성성분은 현재까지 약 300여종이 알려져 있는데 대부분의 성분은 미량이고 추출비용이 비싸므로 분리가 쉽고 함유량이 많은 성분을 추출하는 기술이 주로 개발되고 있다. 특정성분의 추출없이 바이오오일원유(crude bio-oil) 자체를 이용하여 생분해성 유기질 소비료를 제조할 수 있으며, 이 비료는 침출이 적으므로 토양오염이 적고 기존 화학비료와 가격 경쟁력도 있을 것으로 보인다. 바이오오일원유를 이용하여 석탄산을 대체할 수 있는 목재방부제를 제조하는 기술이 근래에 개발되었으나 수명이 다소 짧아서 개량연구가 진행되고 있다.

바이오오일은 물을 이용하면 쉽게 분류가 되는데 수용성인 탄수화물계통 성분은 위로 올라가고 리그닌계통 성분은 아래로 침전된다. 수용성 성분은 육미 착색제나 훈제향을 제조하는 원료로 사용되며 이 기술은 상업화되었다. 또 수용성 성분으로 카르복실산 칼슘염을 거쳐서 도로 제설제를 생산할 수 있다. 현재 널리 사용되는 기존의 염화칼슘은 카르복시산 칼슘보다 가격이 싸지만 식물에는 해로운 것으로 알려져 있다. 비수용성 성분은 합판이나 파티클보드의 접착제 원료로 사용이 되고 있으며, 페놀수지를 제조하는 공정에서 페놀을 대체하는 연구가 진행되고 있다. 바이오오일원유에서 특정 화합물을 제조하는 것은 추출이 어려우므로 상업화된 것이 거의 없고 의약품, 계면활성제, 생분해성고분자의 원료로 사용될 수 있는 레보글루코산과 항생제 원료로 사용되는 레보글루코세논을 저렴하게 추출하기 위한 연구가 진행되고 있다.^[10]

3. 맺음말

목질바이오매스를 급속열분해하여 생산한 바이오오일은 연료로서의 수송성과 저장성이 크게 향상되므로 석유 오일을 대체할 수 있는 신재생에너지원으로서 많은 주목을 받고 있으며, 세계적으로 급속열분해반응기 개발이 매우 활발하고 일부 기술은 상용화에 진입하는 단계이다. 그러나 반응기의 내구성이나 효율 측면에서 전반적으로 초기 단계이고, 생산된 바이오오일의 고부가 활용기술도 연구단계이다. 국내에서는 급속열분해를 이용하여 바이오오일을 제조하는 기술은 거의 없는 상태이지만 지금부터라도 적극적으로 기술개발을 시작하면 현존기술보다 우수한 기술을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

❁ 참고 문헌

- [1] 중장기 대체에너지 기술개발 및 보급 기본계획 수립방안 연구, 산업자원부 보고서 2003-N- PS04-01, 2003
- [2] 입산폐기물의 연소 및 에너지이용 시스템개발에 관한 연구, 산업자원부 보고서 2004-N-BI02-P-03, 2006
- [3] S. Czernik, A.V. Bridgwater, Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil, Energy & Fuels, Vol.18, No.2, pp 590-598, 2004
- [4] Mark Ruth, Development of a Biorefinery Optimization Model, NREL, ppt file, 2004
- [5] Dinesh Mohan, Charles Pittman, Philip Steele, Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: Critical Review, Energy & Fuels, Vol. 20, No. 3, pp.848-889, 2006
- [6] U.S. DOE, Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program : Pyrolysis and Other Thermal Processing, http://www1.eere.energy.gov/biomass/prinyable_nersions/pyrolysi.html 2007
- [7] Environmental and Energy Study Institute, Cellulosic Ethanol State-of-Art Conversion Processes, January 8, 2006
- [8] J. Piskorz, D.S. Scott, D. Radlein, Composition of Oils Obtained by Fast Pyrolysis of Different Woods, ASC symposium series 376, 1988
- [9] Dietrich Meier, Fast Pyrolysis-a Route for Energy and Chemicals from Recovered Wood, BFH Institute of Wood Chemistry and Chemical Technology of Wood, 2005
http://www.ctib-chn.be/coste31/meeting/presentations_hamburg/06_Meier_Pyrolysis.pdf
- [10] Anthony V. Bridgwater, Biomass Fast Pyrolysis, Thermal Science, Vol.8, No.2, pp21-49, 2004
- [11] http://www.vdq023.org/ssc/annx_039.htm
- [12] <http://www.pyne.co.uk/>
- [13] Wolter Prins, Fast Pyrolysis Principle & Application, BTG/Twente University, ppt file, 2005



최 연 석

· 한국기계연구원 환경기계연구본부 신재생환경기계연구팀장 책임연구원
· 관심분야 : 폐기물고형연료(RDF) 기술, 바이오오일 및 바이오펠릿 제조 및 이용 기술
· E-mail : yschoi@kimm.re.kr



김 석 준

· 한국기계연구원 환경기계연구본부 신재생환경기계연구팀 책임연구원
· 관심분야 : 폐기물의 에너지 자원화 기술, 저온 플라즈마 대기환경 응용 기술
· E-mail : sjkim@kimm.re.kr



최 항 석

· 한국기계연구원 환경기계연구본부 신재생환경기계연구팀 선임연구원
· 관심분야 : 바이오 에너지원 개발 기술, 나노기술의 환경기계 응용, 전산유체 해석
· E-mail : hschoi@kimm.re.kr