유우분 반탄화처리 바이오연료 생산

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 홍지형
(davis46@reseat.re.kr)

1. 서론

폐기물바이오매스는 바이오에너지 생산물로 변환되기 전에 업그레이드되어야 한다. 바이오매스 에너지 전환은 열화학적(열사용), 생화학적(박테리아 사용) 및 기계적 기술 등이 있다. 현재 열화학적 또는 열 변환(TCC: Thermochemical or Thermal Conversion)은 생화학적 기술에 비하여 시간소비가 보다 많지 않기 때문에 변환이 보다 좋고 또한 실현가능하다. 더욱이 열처리 바이오매스 산물은 독성이 없고, 고에너지가치 및 저장과 운반이 편리하다.

반탄화, 열분해, 탄화 및 가스화처리는 모두가 바이오매스 열분해이다. 각 처리 공정별로 일정한 방향이 있으며, 열분해의 주된 방향은 액상물 생산이며, 가스화는 반탄화 동안에 가스를, 탄화처리는 고형산물이다. 아마도, 탄화처리는 가열용도로서 수 천년 동안에 다양한 용도로 사용되었으며, 바이오매스는 인류에 의해 탄화물(charcoal)로 전환된 가장 오래된 방법이다.

고형연료생산은 반탄화 및 탄화처리가 옵션이다. 바이오매스로 탄 대체생산에 매력적인 사용 때문에 양자 모두 명성을 얻고 있다. 탄화처리에 비하여 반탄화처리는 200℃ - 300℃의 저온도에서 발생되는 반면에 탄화처리는 300℃ - 600℃ 고온에서 이루어진다.300℃ 이상의 반탄화는 대규모 액화를 가져오며 리그닌의 심각한 손실과 타르를 형성하게 된다. 이러한 것들은 반탄화 바이오매스의 균질한 형상을 제한한다.

온도는 성공적인 반탄화에 핵심 요인이 된다. 200℃와 300℃ 온도에 비교하여, 최고 고형수율과 상당한 체류시간을 고려한 생유우분 반탄화에 최적온도는 250℃이라고 구명하였다(Bakri 등 2015). 200℃와 300℃에서 반탄화 유우분의 고형수율은 수량으로는 거의 비슷하나, 200℃에서 고형연료로서 부적합한 크기로서 매우 미세하였다.

이러한 이유로, 본고는 서로 다른 수분에서 250℃온도의 반탄화 처리에 중심을 두었다. 수분은 폐기물바이오매스의 유동성과 가소성 범위에 있다. 우리 가설은 가소성의 습식 바이오매스는 건조된 덩어리 형성 때문에 반탄화가 곤란하고,. 고온은 완전히 건조된 바이오매스 생성이 가능하다.

본 자료는 바이오폐기물 연료화를 위한 바이오매스 열화학적 처리기법인 반탄화처리에

의한 바이오차 생산 및 바이오 고형연료화 에너지 생산에 관한 최근 유우분 반탄화 성과를 제공하여, 우리나라 축분 바이오매스 고형연료화사업을 신속히 추진하는데 있으며, 유우분반탄화 공정에서 생성된 바이오차 품질 뿐만 아니라, 바이오차 물질수량에 온도와 수분 등의 작동변수가 미치는 영향을 분석하여, 반탄화 공정 바이오차 고형연료 생산에 작동 변수가 미치는 영향에 관한 제 정보를 제공하는데 있다.

유우분 고형연료화를 위한 반탄화 변환에 온도와 수분이 미치는 영향 및 반탄화 산물인 바이오차의 이화학적 성질의 유우분 고형연료화 재활용 사업에 영향 등에 관한 신기술 정보를 낙농협회, 지역 낙농조합, 에너지 관리 공단, 바이오에너지협회 및 신재생에너지 협회 등의 유관 협회와 조합에 제공이 본고의 목적이다.

2. 폐기물바이오매스 반탄화 바이오연료 생산

2-1. 반탄화 프로세스 개요

반탄화 처리는 고형연료로서 바이오매스 성질을 개선하는 실용적 방법이다. 이것은 가스화와 공소 과정에 바이오매스 변환 기법에 전처리 단계로서 사용되고 있다.

열처리는 섬유질 구조 및 바이오매스 강도를 파괴와 함께 열량과 에너지 밀도를 증가한다. 또 다른 장점은 원래 바이오매스 보다 수분과 산소/탄소비를 저감한다.

반탄화 최적 온도는 220 - 240℃이고 입경은 0.1 - 2mm, 체류시간은 30 - 60분간이며, 바이오매스 열량과 탄소성분은 반탄화 과정이후에 개선이 되었다.

열분해와 비슷하게 반탄화 역시 기상, 액상, 고상물질을 생성한다. 주요생성물질은 고상 물질이며 반탄화 처리 단계는 초기가열, 전 건조처리, 후건조 및 중간 가열, 반탄화 및 고형냉각 등의 5단계를 거쳐서 달성 된다.

반탄화는 온도, 체류시간, 입경, 바이오매스 종류 및 수분 등에 의해서 영향을 받는다. 반탄화 온도가 증가하면 바이오매스 고정 탄소가 증가하고, 수소와 산소가 저하된다. 온도 250℃ 이하에서 고 수분 바이오매스는 건물손실을 증가한다.

반탄화는 가끔 탄화처리, 마일드 열분해 및 우드 쿠킹과 혼란이 된다. 탄화처리는 다양한 관점에서 반탄화와 비슷하다. 그렇지만, 열분해는 바이오매스 열분해로서 액상산 물을 최대화하고 있으나, 반탄화와 탄화처리는 고형산물을 최대화하고 있다. 완속 열분해는 탄화처리와 반탄화 처리가 있는데 반탄화 처리는 200- 300℃ 온도에서 발생하며 탄화처리는 고온 역에서 발생된다. 급속 열분해 증기체류시간은 몇초 또는 업데이트 순서이며, 바이오오일과 가스 생산에 주로 사용된다.

반탄화는 바이오매스를 탄화물로 변환하는 열처리 공정이다. 이것은 본래 바이오매스보다 연료 특성이 우수하다. 바이오차는 탄소성분이 풍부한 고형성분으로 바이오차의 이학적 특성으로 인하여 탄소 격리와 선의 지력 증진의 토양 개량제로 효과적 수단으로 잘 알려져 있다.

바이오매스 열화학적 처리 기법은 완속 열분해, 가스화, 건식 반탄화 및 수열탄화 등이 있으며, 작동온도는 각각 300 - 650℃, 600 - 900℃, 200 - 300℃, 180 - 260℃ 등이며,

체류시간은 각각 5분 - 12시간, 10 - 20초, 30분 - 4사간, 5분 - 12시간 등이며, 가열속도는 10 - 30/분, 50 - 100/초, 10 - 15/분, 5 - 10/분 등이며, 표준연료생산량(%)은 각각 완속 열분해(고형 25 - 35%; 액상 20 - 30%, 가스 25 - 35%), 가스화(고형 10%미만, 5%미만, 85%이상), 건조탄화(고형 60 - 80%, 액상 없음, 가스 20 - 40%), 수열탄화(고형 45 -70%, 액상 5 - 25%, 가스 2 - 5%) 등이다.

건식반탄화 바이오고형연료인 바이오차와 수열탄화 바이오고형연료인 하이드로차 생산기술은 각각 완속 열분해, 건식 반탄화, 가스화 및 수열탄화처리 등이며. 작동조건과 산출물 측면에서 열화학적 전처리 종류별 특징은 다음과 같다.

1) 완속 열분해는 무 산소 상태에서 바이오매스가 300 - 650℃ 온도까지 상승하는 동안에서 열화학적 분해과정이며, 처리결과는 탄소가 많은 고형연료(바이오차:biochar)와 액상으로 농축이 가능한 휘발성물질 및 이산화탄소, 일산화탄소, 메탄, 수소 등의 가스가 발생된다.
2) 건식 반탄화처리는 온도 200 - 300℃, 체류시간 3-분에서 4시간사이에 불활성 대기에서 바이오매스가 가열된 것으로 온화한 열분해 과정이다. 이과정은 약 30% 질량이 손실되어 가스형태로 10% 에너지가 손실되어, 반탄화 고형물의 비에너지밀도는 증대된다. 반탄화 처리 과정은 바이오매스 연소과정의 이화학적 성질 개선에 중요한 전처리단계로서 바이오에너지 분야에 상당한 관심을 얻고 있다. 반탄화 바이오매스는 바이오차와 바이오매스 재료의 중간과정에 생성물로 인정하고 있다.
3) 가스화처리는 온도가 600 - 1200℃ 상태의 고온에서 10 - 20초 사이에 바이오매스를 부분적으로 연소한 것으로서, 가스화에서 주요 산물은 일산화탄소, 수소와 이산화탄소 등의 혼합가스 연료와 회분이 생성된다. 가스화에서 생성된 바이오차는 독성물질인 알칼리성분이다.
4) 수열탄화처리는 유기물을 고 탄소 고형물로 변환하는 열화학적 처리이다. 수열탄화는 180- 260℃에서 바이오매스를 수중에 두고서 2- 6MPa 압력(포화증기압력 상태)에서 5- 240분간 체류하는 과정이다.

수열탄화처리의 최근연구는 환경산업에 부가가치가 있는 고형연료(하이드로차) 생산에 집중되고 있다. 260℃이상 온도에서 수열탄화는 수열액화 및 수열기화 또는 수열가스화 또는 초임계수가스화 등의 기법으로 구분된다. 수열액화와 수열기화는 고형연료생산 대신에 액상과 가스연료를 생산하는 것이다.

수열탄화처리공정은 고형연료인 하이드로차 ,물과 혼합된 바이오오일의 액상연료, 이산화탄소의 가스가 생성된다. 최종산물의 성질과 발생비율은 처리공정의 조건에 좌우된다. 체류시간과 온도는 공정 변수를 지배하고 하이드로차는 수열탄화에서 중요한 산물로서 수열탄화 고위발열량은 반탄화 바이오차 그것에 비하여 높다.

하이드로차는 슬러리상태이어서, 연료화 전에 기계적 탈수처리, 필터링, 건조처리 등을 거치게 된다. 기계적 탈수에서 수분이 70-75%, 열건조 처리에서 저 수분(50%)이 된다. 하이드로차 분쇄는 가스화 동안에 유동화를 용이하게 한다.

수열탄화(HTC:Hydrothermal carbonization)는 효과적이며 친화경적 기법이다. 고 에너지 밀도 고형연료 생성하는데 있어서 아주 폭넓은 잠재력이 있다. 그러나 수열탄화에서 고형연료 질과 생산은 온도, 공급원료 종류, 체류시간, 압력 및 촉매 등의 몇 가지 변수에 좌우된다.

2-2. 반탄화 프로세스 변수

반탄화는 열적으로 목질섬유소재료를 분해하는 열 이용 공정으로서 바이오에너지 생산물로 직접 이용 하거나 쉽게 업그레이드가 가능하다. 반탄화 바이오매스는 에너지밀도, 균질성, 취성, 소수성 및 미생물 분해 저항성 등과 같은 제 성질이 향상된다. 반탄화는 작동시간이 몇 분에서 몇 시간정도로 몇 주에서 몇 월정도 걸리는 다른 분해 과정에 비교해서 소요되는 시간이 적고, 200 - 300℃ 온도의 불활성 환경에서 수행되는 것이다.

반탄화를 거쳐서 부가가치가 높은 산물로서 향상하기위하여 원래 바이오매스 수분량은 분해하는 동안에 핵심 관점이 되어왔다. 적정수분이 반탄화 생산에 영향을 미치고 있다는 사실을 믿어왔다. 본 연구에서는 반탄화처리 바이오탄 생산용 유우분의 다양한 수분에 관한 영향을 관찰하였다.

반탄화는 바이오매스를 탄화물로 변환하는 열처리 공정이다. 이것은 본래 바이오매스보다 연료 특성이 우수하다. 바이오차는 탄소성분이 풍부한 고형성분으로 바이오차의 이학적 특성으로 인하여 탄소 격리와 선의 지력 증진의 토양 개량제로 효과적 수단으로 잘 알려져 있다.

연구 자료에서 동일한 체류시간의 다양한 온도에서 바이오차의 고위열량, 질량수율 및 원자비율 등의 바이오차 성질을 조사하였다. 반탄화 전에 0.5mm 크기로 갈아 놓은 건조 유우분 재료를 바이오차로 사용하였다. 그런 후에 200℃, 250℃, 300℃에서 각각 60분간 머플 오븐에서 탄화처리 하였으며 매 시료마다 탄화처리는 산소환경에서 제외되었다.

연구 결과 의하면, 반탄화 시료 색깔은 200℃ 온도를 제외한 모든 온도에서 흑색으로 변화되었다. 이것은 유우분 바이오차는 250℃에서 60분간 이상 준비되어야 가능하였다. 반탄화 온도(200, 250 및 300℃)가 증가하면 각각 바이오차의 질량수율(95%, 73%, 60.4%)이 저하되고, 고위열량(18.7 19.6, 21.2 MJ/kg)이 증가하였다. 250℃의 온도에서 고위발열량과 질량수율로부터 81.7%의 높은 에너지 수율을 보였고, 실험용 에너지로서 적합하였다. 그 외에 원자비율(H/C와 O/C)의 반탄화 정도 및 결과에서 바이오차 질은 극심한 조건에서 개선이 되었다. 300℃에서 생성된 바이오차는 H/C(1.05), O/C(0.25)가 최소 비율로 나타났으며, 결과적으로 가장 적합한 바이오차 성질의 탄화시료 및 유우분 반탄화 정도를 나타내었다.

3. 유우분 반탄화에 온도와 체류시간의 영향

인간에 단백질 공급원인 육류와 낙농제품 및 축분에서 인간에 필요한 유기물질이 공급된다. 2050년까지, 축산물은 인구증가로 인하여, 최고 수요가 예측되고 있으며, 이와 함께 가축분뇨는 더 많은 량의 배출이 예상된다.

더욱이 적정 축산폐기물관리는 메탄, 아산화질소, 암모니아, 산화질소 등이 공기와 물에 배출오염에 관계되는 환경문제 해결은 폐기물에너지화로 재활용이 필요하다. 폐기물 에너지화 기법은 열화학적 처리(열분해, 가스화 및 액화) 및 생화학적 처리(호기성 및 혐기성소화처리) 등이 있고 ,바이오매스를 부가가치 있는 바이오에너지로 변환은 고형상의 바이오차, 바이오 오일의 액상, 및 기상의 바이오가스 등으로 구분 생성되며 이러한 바이오에너지 재료는 열병합발전, 수송용 연료 및 화학적 원료로서 할용 가능하다.

본고에서는 산업용 반응기로 다양한 온도 범위에서 열화학적 폐기물 에너지화 변환 기술로 유우분을 반탄화 바이오차를 성형하여 고형바이오에너지를 생산하는 반탄화 기술을 이해하는데 있다.

3-1.시료채취 및 반탄화 반응기

낙농가에서 50kg 수거하여 커버버킷에 넣어두고 매 10kg씩 운반용 버킷에 나누어 반탄화 시설에 운반하였다. 반탄화 실험은 로터리 킬른 연소형 반응기(KINSEI SANGYO Co. Ltd)를 사용하여 수행하였다.

로터리 킬른은 투입호퍼, 가마 및 굴뚝 등의 세 개의 부분으로 구성되었으며, 반탄화 공정은 가마에서 발생되며, 가마는 회전속도가 50초/회전이고, 경사각은 4도이다. 가마 열은 지정온도에 의해서 자동적으로 키고 꺼지는 버너에 의해 공급 되고, .로터리 가마 온도 1200℃까지 작동이 가능하다.

3-2. 반탄화

반탄화는 200℃, 250℃ 및 300℃ 등의 서로 다른 온도에서 수행되었으며, 약 10kg 생유우분을 매 온도 마다 사용하였다. 반탄화처리는 시료를 투입구에 넣어서 시작되었고, 반탄화 하는 동안에 시료는 가마에서 회전되고 잇었다. 일단 반탄화 되면, 시료를 시료쟁반으로 수거하고, 측정하며 소량의 시료를 분석용으로 분리하여 두었다. 반탄화 시료는 3반복 시험하여 수거하고, 200℃에서는 4반복하였다.

3-3. 바이오차 생산과 온도

생유우분 시료가 상이한 온도에서 반탄화 유우분의 전체질량수율은 200℃에서 1차 바이오차 생산 질량수율은 33.93%, 2,3,4차는 각각13.67, 2.53 및 0.22% 등이었고, 250℃에서 바이오차 생산 질량수율은 1차 45%, 2, 3차는 각각12.93, 1.33%이며 30

0℃에서 1차 질량 수율은 34.41%, 2, 3차는 7.83, 0.39% 등이었다. 건조는 바이오매스 가열과 헤미셀룰로스 감소이고, 온도가 200℃이상이면 휘발성 물질과 차르발생이 변화된다. 약간의 리그닌과 셀룰로스는 액화되고, 탄화되어 질량감소를 나타낸다. 동시에 극심한 바이오매스 분해가 시작되는 300℃에서 갈색으로 전환이 시작된다. 반탄화 유우분의 색깔변화 수준은 덜 구어 진 색깔은 옅은 갈색을 띠고, 완전히 구어 진 것은 검은색이나 진한 갈색을 나타낸다.

3-4. 바이오차 생산과 체류시간

3개수준의 온도에서 반탄화 유우분바이오차 생산의 전체처리시간과 최종 질량수량은 200℃에서 전체처리시간은 116분이며 43분(T1), 29분(T2), 24분(T3)20분(T4)이며, 250℃에서 전체처리시간은 96분이며, 49분(T1), 26분(T2), 21분(T3)이거, 300℃에서 전체 처리시간은 90분이며 44분(T1), 22분(T2), 24분(T3) 이었다. 250℃와 300℃의 3회 처리 반탄화와 비교할 때에 4회 처리 200℃에서 반탄화처리 시간이 가장 길었다. 4회 처리 시간은 완전건조에 필요하며 200℃에서 생성된 최종 바이오차는 250℃와 300℃의 바이오차 산출과 같이 흑색이었다. 또한 건조는 탈수에 기여하여 결과적으로 최종산물에 질량이 감소되었다,

고형물 생산 수량은 온도와 체류시간에 의해서 감소되었다. 250℃과 300℃온도의 최종산물에 비하여, 200℃에서 최종수량이 가장 낮았다. 전체처리시간의 장기간은 200℃의 최종 반탄화 유우분 생산에 낮은 수율에 영향을 미치는 핵심요인으로 판단된다.

3-5. 반탄화 최적 온도

본 연구는 200℃, 250℃, 300℃ 온도 수준에서 유우분 반탄화 질량수율을 검토하였다. 수율은 온도 수준에서 처리단계별로 점차 감소하였고, 처리사간의 장시간 지속은 반탄화 유우분의 최종 질량 수율에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 250℃에서 반탄화 처리는 바이오차 생산의 질량수율과 지속시간을 고려 할 때에 보다 더 선호되는 온도라는 것을 알 수 있었다

반탄화 처리는 불활성 저온에서 바이오매스를 부가가치 있는 바이오에너지로 변환하는 열 화학적 처리 기법이다. 본 연구는 생 유우분을 200℃, 250℃, 300℃ 등의 온도에서 각각 4회 반복하였으며, 로터리 킬른 연소형 반응기에 의해 반탄화 실험을 하였다. 반탄화 유우분 질량수율은 탈수 때문에 처리시간에 따라서 점차 감소하였으며, 최종 질량수율과 생산에 지속사간을 고려할 때에 250℃의 바이오차가 더 바람직하였다.

4. 유우분 반탄화에 수분의 영향

축산 바이오매스 폐기물처리와 재활용기술은 대부분이 퇴비화, 사료화 및 바이오에너지화 등이 대부분이나, 온실가스 감축과 악취가스 배출 억제 및 과잉퇴비 생산방지를 위해서 메탄발효 바이오에너지와 소화액 재활용 및 우분과 계분 등의 습식 반탄화 고형연료를 바이오매스가스화 발전의 신기술 도입을 위한 폐기물계 바이오매스 가스화 발전 기술정책 입법화 및 제도화가 절실히 필요하다

다. 바이오매스 에너지 전환은 열화학적(열 사용), 생화학적(박테리아 사용) 및 기계적 기술 등이 있다 .현재 열화학적 변환기술은 생화학적 변환기술에 비하여 시간소비가 보다 많지 않기 때문에 변환이 보다 좋고, 또한 실현가능하다. 더욱이 열처리 바이오매스 산물은 독성이 없고, 고 에너지가치와 저장과 운반이 편리하다. 바이오매스는 바이오에너지 생산물로 변환되기 전에 업그레이드되어야 한다.

반탄화, 열분해, 수열탄화 및 가스화처리는 모두가 바이오매스 열분해이다. 각 처리 공정별로가는 방향이 있으며, 열분해의 주된 방향은 액상물 생산이며, 가스화는 반탄화 동안에 가스를, 탄화처리는 고형산물이다. 아마도, 탄화처리는 가열용도로서 수천 년 동안에 다양한 용도로 사용되었으며, 바이오매스를 인간에 탄화물(charcoal) 전환으로서 가장 오래된 것이다.

고형연료생산은 반탄화 및 탄화처리가 옵션이다. 탄화처리에 비하여 반탄화처리는 200℃ - 300℃ 의 저온도에서 발생되는 반면에 탄화처리는 300℃ - 600℃ 고온에서 이루어진다. 300℃ 이상의 반탄화는 대규모 액화를 가져오며 리그닌의 심각한 손실과 타르를 형성하게 된다. 이러한 것들은 반탄화 바이오매스의 균질한 형상을 제한한다.

온도는 성공적인 반탄화에 핵심 요인이 된다. 200℃ 와 300℃ 온도에 비교하여, 최고 고형수율과 상당한 체류시간을 고려한 생유우분 반탄화에 최적온도는 250℃ 이라고 구명하였다(Bakri 등 2015). 200℃ 와 300℃ 에서 반탄화 유우분의 고형수율은 수량으로는 거의 비슷하나, 200℃ 에서 고형연료로서 부적합한 크기로서 매우 미세하였다.

이러한 이유로, 본 연구는 서로 다른 수분에서 250℃ 온도의 반탄화 처리에 중심을 두었다. 수분은 폐기물바이오매스의 유동성과 가소성 범위에 있다. 유우분 반탄화에 수분이 미치는 영향을 조사한 측정결과는 다음과 같다..

4-1. 시료 채취 및 수분 측정

유우분 시료 수분은 84%, 85% 및 79%(a)와 79%(b) 등의 4종류 수분이며, 유우분 84%와 85% 수분은 유동성 재료이며, 수분 79%는 가소성 재료로 나타났다. 79%수분은 애터버그(atterberg) 시험에서 액상한계로 결정하고, 85%와 84% 수분시료는 생유우분 초기수분으로 본 실험에서 직접 사용하였고, 85% 시료 일부는 79%가 될 때

까지 상온에서 탈수하였다. 시료 수분은 105℃에서 24시간 오븐에서 건조하여 측정하였다. 로터리 킬른(kiln:가마)은 투입호퍼, 가마(직경0.4m, 길이 1.6m) 및 굴뚝(높이:3.1m) 등의 세 개의 부분으로 구성되었으며, 가마는 시료를 제거하는 퇴출구가 있다.

4-2. 반탄화 정도

본 연구는 반탄화 처리작업에 로터리 킬른 연소형 반응기를 사용하여 시료를 분리하여 건조하였다(T1에서 T3). 반탄화 유우분 결과는 3단계(T3)시료에서 토론하였다.

처리 구간 T1은 가열 건조 상태이며, T2는 전 건조처리 상태이며, T3는 반탄화 상태이다. 모든 종류의 수분시료의 흑색 정도(T3)는 유사한 비정형 흑색입자라고 판단되었고, 가소성 수분 시료(79%(a)와 79%(b))도 비슷하게 보였다. 이것은 250℃의 동일한 작동온도 때문에 이라고 생각 되었다.

4-3. 수분의 반탄화 영향

반탄화 전과 후에 시료 수분가치는 다음과 같다. 간단하게 말하면, 높은 초기 수분가치는 최종 반탄화 수분 가치를 높게 하여 주었고, 유우분의 유동성수분(85%와 84%)은 최종수분(24.9%와16.3%)을 보다 높게 하였고, 유우분의 가소성 수분(79%(a)와 79%(b))는 최종수분(8%와 7.2%)을 보다 낮게 하였다. 탈수량은 동일한 반탄화 온도 250℃로 인하여, 모든 실험에서 동일한 결과를 나타냈다.

4-4. 질량수율과 체류시간의 반탄화 영향

250℃의 반탄화 처리 공정에서 반탄화 유우분 질량수율과 체류시간은 다음과 같다. 유동성 수분의 시료(85%와 84%)는 가소성 수분(79%(a)와 79%(b)) 시료와 비교하여 볼 때에 질량 수율과 체류시간 관계에 부적합한 관계를 나타냈다. 수분 84% 유우분에서 가장 짧은 88분 체류시간에서 최고 질량수율(19.22%db)이었고, 수분 85% 유우분에서 반탄화 체류시간은 가장 긴 117분에서 가장 낮은 반탄화 유우분 질량수율(10.14%db)를 나타냈다. 한편 가소성 유우분은 수분79%(a)와 79%(b)에서 체류시간과 질량생산에 일치하는 결과를 나타냈다. 이들 양자의 반탄화 시료에서 반탄화 체류시간은 평균으로 약 106.5분이고, 질량수율은 13.18%db 정도로 나타났다. 이외에도, 수분과 질량수율(0.10191)은 연약한 관계를 알 수 있었는바, 이것은 아마도 모든 시료의 수분범위가 상당히 비슷하기 때문이라고 생각 되었는데, 향후에는 유우분의 수분에서 보다 많은 가소성 분석이 필요하였다.

생 유우분 약 10kg 시료의 매 수분에서 온도는 250℃로 설정하여 작동하였다. 반탄화 유우분의 흑색정도는 전체 수분에서 일정하였다. 반탄화 수분은 85%에서 24.9%로, 84%에서 16.3%로, 79%(a)에서 8%와 79%(b)에서 7.2% 등로 본래 수분에 따라 감소하였다. 질량수율은 유우분 84% 수분에서 최대 질량수율(19.22%db)을 나타

내고, 다음으로는 유우분 수분 79%(a), 79%b), 85% 등에서 각각 13.53%, 12.82% 및 10.14% 등으로 나타났다.

그러므로 유우분 가소성은 탄화 바이오매스에서 생성된 낮은 수분 때문에 보다 더 좋다. 수분과 질량수율 사이 관계는 약한 선형관계에서 기인되었다.

5. 결론

유우분의 수분 유동성과 가소성에서 로타리 킬른 연소형 반응기에서 약 2시간에 250℃ 온도에서 성공적으로 반탄화 처리되었다. 결과는 사실상 습식 바이오매스에서 수분 가소성은 반탄화에 장해가 되지 않고, 반탄화 바이오매스는 반탄화 후에 바이오매스에 함유된 약간의 수분함량으로 인하여, 높은 온도 일지라도 완전히 건조 되지는 않았다 것을 나타냈다.

반탄화는 열적으로 목질섬유소재료를 분해하는 열 이용 공정으로서 바이오에너지 생산물로 직접 이용 하거나 쉽게 업그레이드가 가능하다. 반탄화 바이오매스는 에너지밀도, 균질성, 취성, 소수성 및 미생물 분해 저항성 등과 같은 제 성질이 향상된다. 반탄화는 작동시간이 몇 분에서 몇 시간정도로 몇 주에서 몇 월정도 걸리는 다른 분해 과정에 비교해서 소요되는 시간이 적고, 200 - 300℃ 온도의 불활성 환경에서 수행되는 것이다.

반탄화를 거쳐서 부가가치가 높은 산물로서 향상하기위하여 원래 바이오매스 수분량은 분해하는 동안에 핵심 관점이 되어왔다. 적정수분이 반탄화 생산에 영향을 미치고 있다는 사실을 믿어왔다. 본 연구에서는 반탄화처리 바이오차 생산용 유우분의 다양한 수분에 관한 영향을 관찰하였다. (끝)

<참고문헌>

1. Acharya, B. et al., "A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing" ,Biomass Conversion and Biorefinery 2(4), 2012, pp. 349-369

2 Bakri .S. N. S., et al., "Preliminary study of dairy manure torrefaction for biochar production" International Journal of Management and Applied Science, 1(11), 2015, pp. 148-150

3. Bakri, S .N .S., et al., "Effect of moisture conrnet on dairy manure torrefaction", Proc. 8th Int. Symp. Machinery and Mechatronics for Agr. and Biosystems Engineering, 2016, pp. 967-972, Niigata, Japan

4. Basu, P., " Biomass gasficatiobn, pyrolysis and torrefaction: Design and Theory, 2nd ed., California, USA, Academic Press, 2013

5, Cantrell, K. B., et al., "Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities"Bioresource Technology 99(17), 2008, pp.7941- 7953
6. Chen, L. et al., " Renewable energy from agro-resdues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technologt", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9), 2009, pp.2689-2695
7. Chen, W.-H., et al., "A state of the art review of biomass torrefaction, densification and applications",Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19(4), 2015, pp. 847-866
8. Chew,J.J., et al.,"Recent advances in biomass pretreatment- Torrefaction fundamentals and trchnology", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4), 2011, pp 4211-4222
9. Medic, D. et al. "Effects of torrefaction process parameters on biomass feed stock upgrading", Fuel, 91(1), 2012, pp.147-154
10 .Sadaka, S., et al., " Improvements of biomass physical and thermochemical characteristics via toreefaction process", Environmental Progress & Sustainable Energy, 28(3), 2009, pp. 427-434
11. Shankar T. et al., "A review on biomass torrefaction procee and product properties for energy applications", 7(5), 2011, pp.384-401

이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.