

소나무 뿌리 폐기물을 이용한 목질 펠릿 제조 -목부와 뿌리로 제조한 펠릿의 특성 비교

*신 수정¹⁾, 한 규성²⁾, 명 수정³⁾, 조 중식⁴⁾, **연 익준⁵⁾

Wood pelletizing using pine root waste biomass -different pelletizing properties between trunk and root biomass of *Pinus densiflora*

*Soo-Jeong Shin , Gyu-Seong Han, Soojeong Myeong, Jung-Sik Cho, **Ik Jun Yeon

Key words : Pine root (소나무 뿌리), wood wasted biomass (폐목재 바이오매스), wood pellet(목질 펠릿), biosolid fuel (생체 고형 연료), higher heating value (발열량)

Abstract : Different biosolid fuel (wood pellet) properties between trunk and root of pine (*Pinus densiflora*) biomass were investigated. Trunk has more organic solvent extracts and Klason lignin content which has higher heating values than root biomass component. In root biomass, polysaccharides content was higher than trunk biomass. Based on Higher Heating Value (HHV) analysis and ash content, trunk biomass showed better solid fuel characteristics than root biomass. But pine root biomass had lower HHV than trunk biomass, its HHV values were higher than other hardwood or annual plant lignocellulosic biomass.

1. 서론

원유가격의 급등과 탄소 배출권 제한으로 지속적 생산이 가능한 에너지원에 대한 관심이 커져 가고 있다. 재생 에너지 자원 가운데 목질 바이오매스 자원으로 광합성 과정을 걸치면서 태양에너지와 이산화탄소를 사용하여 포도당을 생성하고 이 포도당은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌과 같은 목질 바이오매스 구성 성분 형태로 에너지를 저장하고 산소를 대기 중으로 방출시킨다. 이렇게 저장된 에너지 형태는 목질바이오매스의 분해 과정을 거쳐 다시 에너지와 이산화탄소로 분해된다.

산림 속에 축적되어 있는 바이오매스 자원을 이용한다면 이산화탄소 농도 증가에 기여하지만 자연에서 버려지는 목질 폐기물은 자연적인 분해 과정이나 연소 과정을 거쳐 에너지와 이산화탄소로 돌아가기 때문에 이산화탄소 농도 증가에 대하여 중립적이다. 목질 바이오매스 자원도 훌륭한 재생에너지 자원으로 개발도상국이나 후진국에서 직접 연료로 사용하고 있고 또 선진국에서 화석 연료를 대체 할 수 있는 자원화 기술을 개발하고 있다.

목질 바이오매스를 구성하고 있는 셀룰로오스는 포도당이 1-4 베타 결합을 하고 있는 형태로 전분의 1-4 알파 결합 보다는 포도당 생성이 어렵지만 효과적인 가수분해 기술이 개발된다면 훌륭한 포도당 자원으로 에탄올 발효나 다른 바이오리파이너리 산업의 원료로 각광 받을 것이다. 헤미셀룰로오스 성분도 단당류가 결합 하고 있는 형태로 바이오에너지나 바이오리파이너리 산업에 원료 공급 가능한 자원이다. 이런 단당류를 단당류화 한 다음 에탄올 발효를 과정을 거쳐 수송용

-
- 1) 충북대학교 농업생명환경대학 목재 종이과학전공
E-mail : soojeongesf@gmail.com
Tel : (010) 5530-1083 Fax : (043)273-2241
 - 2) 충북대학교 농업생명환경대학 목재 종이과학전공
E-mail : wood@chungbuk.ac.kr
Tel : (043) 261-2807 Fax : (043)273-2241
 - 3) 한국환경정책·평가연구원
Email: sjmyeong@kei.re.kr
Tel: (02) 380-7649 Fax : (02)380-7622
 - 4) 충북대학교 공과대학 환경공학과
E-mail : jscho@cjnu.ac.kr
Tel : (043)841-5351 Fax : (043)841-5350
 - 5) 충주대학교 환경공학부 환경공학전공
E-mail : ijyn@chungju.ac.kr
Tel : (043) 841-5359 Fax : (043)841-5350

연료를 대체할 수 있는 바이오 에탄올 생산이 가능하다. 목질 바이오매스를 이용하는 또 다른 에너지화 공정은 목질 펄릿을 제조하여 직접 연소하는 것이다. 고체 형태의 목재 자원은 연소 속도나 열량 발생의 조절이 어려운데 비하여 펄릿 형태로 제조하면 펄릿 연소기에 공급속도의 조절이 가능하여 목질 바이오매스를 직접연소 시킬 때의 단점들을 극복할 수 있다.⁽¹⁾

지속적인 재생산 구조를 통한 효과적인 바이오매스 자원을 확보하기 위하여 에너지 작물 개념의 바이오매스 재배 후 이를 이용하는 것에 대한 관심이 커져 가고 있다. 산업용 대마가 그중 하나의 후보로 자리 잡아 가고 있다.^{(2), (3)} 또 다른 한 가지 대안은 현재 버려지고 있는 자원의 활용 기술 개발을 통하여 이용하는 것이다. 골프장 건설, 아파트 건설이나 건축물, 도로 건설과정에서 정지 작업 중에 목재 자원의 별목이 일어난다. 뿌리 부분을 제거하지 않으면 땅 밑에서 나무뿌리가 썩으면서 지반의 균일성을 방해하기 때문에 일반적인 벌목 현장에서와 달리 이런 작업장에서는 나무뿌리 까지 제거해야 한다.

이렇게 제거된 임업 부산물들은 현재 폐기물로 분류가 되어 에너지 자원으로 이용되지 못하고 있다. 본 연구에서는 이런 임업 목질폐기물을 분쇄하여 그 구성 바이오매스의 화학적 조성을 분석하고 또 목질펄릿을 제조하고 그 연소 특성을 분석하여 바이오매스 고체 연료화의 가능성을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

골프장 건설 현장에서 뽑아낸 소나무 뿌리를 충북 청원군 옥산면에 위치하고 있는 임목 폐기물 업체인 신영 E & P에서 공급 받아서 목분을 제조하였다. 소나무 뿌리와 비교하기 위하여 충북대학교 구내에 있는 소나무를 잘라서 목분을 제조하고 그 목분과 뿌리 목분을 비교 분석하였다.

2.2 실험 방법

시료의 화학적 조성을 확인하기 위하여 유기 용매 추출, 끓는물 추출, 리그닌 함량 측정, 탄수화물 조성 분석 등을 실시하였다.

유기 용매 추출, 끓는 물 추출, 리그닌 함량 측정은 TAPPI standard의 표준법에 따라 실시하였고 탄수화물 총량은 추출된 바이오매스의 분량에서 리그닌을 제거한 부분을 전체 다당류 탄수화물로 계산하였다.

연소 후 남은 재의 양의 추정하기 위하여 회분 함량을 측정하였다. 550℃에서 산소의 공급을 충분히 하면 8시간 반응 시킨 후 천천히 냉각 시킨 다음 남은 회분의 양을 측정하였다.

원소 분석: 바이오매스를 구성하고 있는 성분 조성과 연소할 때의 발열량을 대략적으로 추정하기 위하여 C, H, O, N 원소의 함량을 유기 원소분석기를 이용하여 측정하였다. Automatic Elemental Analyzer (EA1110 모델, CE Instrument)를 사용하여 원소분석을 실시하였다. 40 mesh 이하로 분쇄된 시료 10mg을 1800℃에서 연소 시킨 후 발생하는 각 원소의 기체를 GC(gas chromatography) 칼럼을 통과시키면서 이동속도에 따라 분리한 후 열전도도 검출기로 검출하여 각 원소의 구성 비율을 계산하였다.

발열량 측정 : 전건 시료 1.00g을 열량계(Parr Instrument Co. 1341 Oxygen Bomb Calorimeter)에 넣고 산소를 충전한 후 점화하여 연소 전후의 온도변화에서 건조 고위 발열량 (HHV, high heating value)을 계산하였다.

펄릿 제조: 펄릿은 충북대학교 농업생명과학대학 목재·종이 전공에서 보유하고 있는 펄릿 제조기를 사용하여 180℃에서 1500kg/cm³의 압력으로 3회 가압을 실시하여 제조 하였다.^(4,5)

3. 결과 및 고찰

3.1 뿌리와 목부와의 화학적 조성 차이

목부와 뿌리의 화학적 조성을 비교한 결과 (표 1) 목부에 아세톤에 추출되는 추출물 성분과 Klason 리그닌 함량이 각 3.5%와 2.8% 높았고 뿌리에는 다당류 성분이 약 6.3% 높게 나타났다. 발열량이 높은 추출물 성분과 리그닌이 목부에 높게 나타났고 발열량이 낮은 다당류 성분이 뿌리에 많이 함유되어 있어 다음 항목의 원소 분석이나 발열량 분석에서 목부 바이오매스가 뿌리 바이오매스보다 에너지원으로 유리할 것으로 추정할 수 있다.

Table 1. Chemical composition of the Korean red pine (*Pinus densiflora*) trunk biomass and their root biomass

Chemical composition	trunk	Root
Acetone extracts(%)	5.6	2.1
Hot water soluble extracts (%)	6.0	5.9
Klason lignin (%)	25.5	22.8
Polysaccharides (%)	62.9	69.2

3.2 유기 원소 분석, 발열량 추정 및 발열량 측정

유기 원소 분석 결과 발열량에 긍정적인 영향을 미치는 탄소의 함량은 목부가 높게 수소는 뿌리가 높았다. 하지만 발열량에 부정적인 영향을 미치는 산소의 함량은 뿌리에서 높게 나타났다. 뿌리의 높은 산소 함유량은 화학적 조성분석에서 높은 다당류 함량에서 기인된다. 연소 과정에서 질소 산화물을 발생시킬 수 있는⁽⁶⁾ 유기 질소 함

유량은 뿌리에서 1.42%로 줄기보다 8배정도 높은 함유량을 보였다. 또 연소할 때 산화 황 화합물을 발생시킬 수 있는 황 성분은 목부나 뿌리에서 모두 검출 되지 않았다.

Table 2. Elementary Composition difference between trunk and root of pine biomass

	Elementary Composition (%)			
	C	H	O	N
trunk	51.15	6.25	42.42	0.18
root	47.58	6.50	44.50	1.42

Table 3. Heating value comparison between trunk and root of pine biomass

	Heating Value (MJ/Kg)		
	Measured	Prediction*	Prediction**
trunk	19.57	19.50	19.35
root	18.49	18.36	18.16

* based on UNDP model(2000)

** based on Ruyter model (1982)

발열량 측정 장치를 이용하여 두 시료의 발열량을 측정 한 결과 목부가 뿌리 보다 5% 높은 발열량을 보였고 이는 원소 조성에 기초한 두 가지 모델에서도 예측할 수 있었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 발열량이 높은 화학조성인 리그닌 함량과 유기물 추출물 함량이 목부가 뿌리 보다 높음에서 기인하는 것으로 생각된다.

초본류의 발열 특성으로 옥수수 줄기가 약 17.8, 밀짚 줄기가 17.0 홍차 폐기물이 17.1, 담배 잎이 15.0 MJ/kg의 발열량을 보였다. 활엽수 평균으로는 18.8 MJ/kg의 발열량 특성을 보였다.⁽⁹⁾ 따라서 뿌리 바이오매스가 침엽수 줄기 바이오매스의 발열량 보다는 낮지만 활엽수와는 거의 같은 수준이며 초본류 보다는 높은 발열량을 보이고 있다.

3.3 회분 함량 차이

연소 후 발생 하는 재의 양의 추정하기 위하여 회분 함량 분석을 실시 한 결과 줄기에서는 0.4%의 회분 함량을 보였고 뿌리에서는 1.4%의 회분 함량으로 줄기에 비하여 약 3.4배 높은 회분 함량을 발생 시켰다. 따라서 뿌리를 사용하여 만든 펠릿을 연소 시킬 경우 연소로의 회분 제거 빈도를 줄기를 사용하여 펠릿 제조한 경우 보다 3.5배 정도 자주 제거 하여야 하는 번거로움을 수반할 것이다.

4. 결 론

소나무 뿌리 폐기물 바이오매스를 이용한 목질 펠릿 제조 가능성을 화학조성 분석, 원소분석, 발열량 측정과 회분 함량 측정을 통하여 검토하였다. 소나무 뿌리 폐기물은 목부 줄기 바이

오매스의 비하여 높은 질소 함량과 회분 함량과 같은 점에서 고체 연료로서의 품질이 떨어지며 또 유기 용매 추출물 함량과 리그닌 함량이 낮아서 원소 분석과 발열량 분석 결과 약간 낮은 발열량을 보였다.

하지만 다른 일년생 초본류나 활엽수를 이용하여 제조한 펠릿보다는 우수한 고체 연료 특성을 보이기 때문에 줄기 바이오매스보다는 약간 품질이 떨어지지만 활엽수보다 더 좋은 품질의 목질 펠릿 형태의 고체 연료를 제조하는데 사용할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 학문후속세대 양성 사업(KRF-2006-353-F00006)의 연구 지원에 의하여 수행되었습니다. 실험에 필요한 소나무 뿌리 시료를 공급하여 주신 임목 폐기물 업체인 신영 E & P 회사에 고마운 마음을 전합니다.

References

- [1] Wolf, A., Vidlund, A. and Andersson, E., 2006, "Energy-efficient pellet production in the forest industry- a study of obstacles and success factors," Biomass Bioenerg. Vol. 30, pp. 38-45
- [2] Shin, S.-J., Han, G.-S., Choi, I.-G. and Han, S.-H., 2008, "Chemical characterization of industrial hemp (*Cannabis sativa*) biomass as biorefinery feedstock," Korean J. Plant Res. Vol. 21, No. 3, pp 222-225
- [3] 신수정, 한규성, 심화섭, 안병국, 2008, "산업용 대마 목부를 이용한 고밀화 펠릿 연료 제조", 한국 신·재생에너지학회 2008년도 춘계학술대회논문집 pp. 221-224
- [4] 한규성, 여진기. 2003, "고밀화에 의한 현사시 톱밥의 고품연료화," 임산에너지 Vol. 22, No. 2, pp. 54-59
- [5] 한규성, 최돈하, 2002, "포플러로부터 고밀화 연료의 제조." 임산에너지 Vol. 21, No. 3, pp. 59-65
- [6] Olsson, M. and Kjalstrand J., 2006, "Emissions from burning of softwood pellets," Biomass Bioenerg Vol. 27, pp. 607-611
- [7] Ruyter, H.P., 1982, "Coalification model," Fuel Vol. 61, pp. 1182
- [8] UNDP, 2000, "World energy assessment 2000-energy and the challenge of sustainability, new york, HUNDP; 2000(ISBN 9211261260).
- [9] Demirbas, A., 1997, "Calculation of higher heating values of biomass fuels," Fuel Vol. 76, pp.431-434