

농업 부산물 바이오매스 자원의 부존특성 조사 - 과수원 및 밭작물 부산물을 중심으로 -

Evaluation of Agricultural Biomass Resources for Renewable Energy - Biomass from Orchards and Non-paddy Fields -

홍 성 구

Hong, Seonggu

Abstract

Biomass is considered to be a major potential fuel and renewable resource for the future. In fact, there is high potential to produce significant amount of energy from biomass around the world. In spite of the potential, there are a few efforts in biomass utilization in this nation. In this study, elemental biomass data was obtained with respect to the amount and calorific values of agricultural residues. Rice straw and husks were not included in the evaluation due to their demand from alternative uses such as livestock feedings, bedding materials, and so forth. Dry basis high calorific values are about 4,500 kcal/kg for all the agricultural residues investigated, similar to literature data. Energy densities or unit area energy value, from pepper and sesame were significant and comparable to those of woody biomass. These elemental data for biomass resources will provide the background of planning and development of biomass energy program, which is getting more feasible along with advances in energy conversion technologies such as micro gas turbines.

Keywords : Biomass, Renewable energy, Heating values, Elemental analysis

I. 서 론

우리나라 에너지의 수입의존도는 2001년 현재 97.3%를 차지하고 있으며, 총수입 중 에너지의 비중은 23.8% 수준이다(MOCIE, 2003). 2003년 2

월 대체에너지 보급센터의 신설 등과 같은 노력과 아울러 에너지 공급의 다원화와 청정에너지의 개발에 관심을 기울이고 있으나 앞으로 국내 에너지수급 상황은 크게 변하지 않을 것으로 보인다. 그러나 세계정세의 영향으로 유가는 계속해서 불안한 상태이며 석탄을 제외한 화석연료의 대부분은 가채연수가 50년 내외로 추정되고 있다. 특히 지구온난화와 온실가스 감축에 대한 논의가 구체적으로 진행되면서 장기적으로 화석연료에 대한 의존도를 낮추어야 하기 때문에 대체에너지의 개발과 보급이

* 한경대학교
* Tel.: +82-31-670-5134
* Fax: +82-31-674-4119
E-mail address: seongguc@hnu.hknu.ac.kr

더욱 절실한 즘음이다.

“대체에너지 개발 및 이용·보급촉진법”에서 대체에너지는 태양, 바이오, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄을 액화, 가스화한 에너지, 해양에너지, 폐기물 에너지, 지열에너지, 수소에너지 등을 포함하고 있다. 최근에는 환경문제와 관련하여 청정 대체에너지에 대한 관심이 더욱 높아졌으며, 이러한 관심은 보급 촉진으로 이어질 전망이다. 대체에너지 또는 재생에너지 자원으로서 바이오에너지는 대체에너지 자원 중 가채량이 비교적 높으며, 현재 폐기물에너지에 이어 제2위의 대체에너지원이다(Kang, 1998). 바이오매스는 에너지로 변환할 수 있는 모든 종류의 동물이나 식물을 일컬으며, 관목, 곡물, 풀, 조류, 수중생물, 농업 및 임업 부산물, 그리고 인간이나 동물로부터의 배설물 등을 포함할 수 있다. 바이오매스는 미래의 중요한 재생에너지 자원으로 인식되고 있고, 특히 유럽의 경우 총 에너지 수요량의 약 50%까지 충족이 가능한 자원으로 평가되고 있다(Bridgewater, 1995). 바이오매스를 이용한 에너지 이용의 형태는 직접 소각하거나 연료로 전환하여 이용하는 경우가 대부분이다. 연료로 전환하는 방법에는 현재도 활용되고 있는 메탄가스, 왕겨탄, 알코올의 생산 뿐만아니라, 열분해공정을 통해서 가스를 생산하는 방법이 있다. 대부분의 이러한 공정은 비교적 기술이 확립되어 적용이 가능하나 비용 절감 및 효율성 제고를 위해 연구가 진행되고 있다.

미국을 포함한 일부 유럽국가에서는 에너지생산을 위한 작물의 재배를 시도, 이와 관련된 경제성 등을 연구해 오고 있으며(Walsh, 1998), 농업생산에 영향을 미치지 않는 범위에서 그 가능성을 적극 검토하고 있다. 특히 바이오매스로부터 전기를 생산하는 공정을 위한 다양한 노력과 온실가스 배출 저감 효과 등이 평가되어 앞으로 바이오매스 자원의 이용과 관련된 연구는 더욱 더 활발해질 전망이다(Warren, et al., 1995).

농촌지역에서 발생되는 각종 바이오매스 자원은 관리되지 않고 방치되는 경우 주변 환경에 부정적

인 영향을 미치므로 이들의 적절한 활용은 재생에너지의 개발 뿐만 아니라 환경보전 효과를 얻을 수 있다. 농업부산물과 같은 바이오매스는 에너지 밀도가 낮아서 이를 위해서는 수집, 수거의 비용이 문제가 되기 때문에 효율적인 계획과 이용방안이 설정되어야 한다.

바이오매스 자원에 대한 조사연구는 1989년부터 3개년간 현재 에너지기술연구원의 전신인 동력자원연구소에서 수행된 바 있다(Hong et al., 1989). 이 조사에서는 바이오매스 자원을 농산, 임산, 축산, 수산, 도시폐기물, 산업 바이오매스로 구분하여 자원특성, 부존량, 이용가능성에 대하여 분석하였다. 농촌지역과 관련된 농산, 임산, 축산 바이오매스의 이용가능한 총량은 각각 148만, 504만, 23만 석유환산톤(10^7 kcal, TOE)으로 추정하였다. 그러나 이 연구에서는 농업부산물의 경우 타 용도로 대부분 활용되고 있는 벃짚이나 왕겨 등을 포함시켜 다소 과다하게 이용가능량을 추정하였으며, 함수비라든가 발생 시기 등과 같은 중요한 관련 자료가 충분히 검토되지 않아서 바이오매스 자원의 활용계획을 수립하는데 부족한 측면이 있다.

바이오매스 자원을 활용하는데 있어서 열분해 또는 가스화와 같은 공정에서는 함수비가 매우 중요한 요인으로 작용하며, 활용 계획을 세우기 위해서는 연간 총 발생량뿐만 아니라 시기별 발생량에 대한 구체적인 자료 또한 필요하다. 또한 수집이나 수거에 영향을 미치는 지리적 분포 또한 고려되어야 한다. 이와 같은 자료는 농업부산물 중심의 바이오매스를 에너지로 활용하는데 필요한 주요 자료이다. 따라서 본 연구에서는 농업부산물 바이오매스 자원에 대한 발생 및 부존특성으로서 단위발생량, 원소조성비, 단위중량당 발열량 등의 자료를 수집 또는 분석을 통해 농촌지역에서 바이오매스 중심의 대체에너지 개발 계획에 필요한 자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

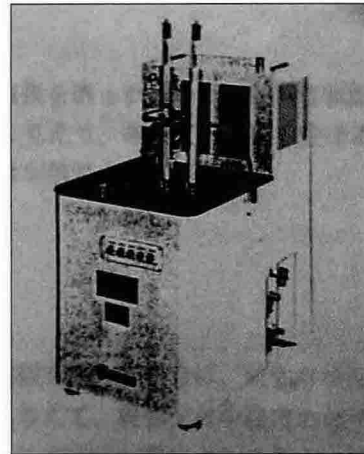
1. 바이오매스

본 연구에서 대상으로 하는 주요 농업부산물 바이오매스는 과수 및 일부 발작물에 국한하였다. 벼짚이나 왕겨는 예비 조사를 통해서 대부분의 발생량이 퇴비, 사료, 또는 산업 원료로서 활용되고 있기 때문에 제외하였다. 특히 왕겨는 미곡처리장에서 집중적으로 발생되어 수집에 유리한 장점이 있으나 연간 발생량의 거의 전량이 판매되고 있는 실정이었다. 과수는 포도, 배, 사과, 복숭아를 중심으로 하였고, 발작물의 경우 부산물이 농지에 그대로 방치되거나 소각되는 고추와 유지작물을 대상으로 하였다.

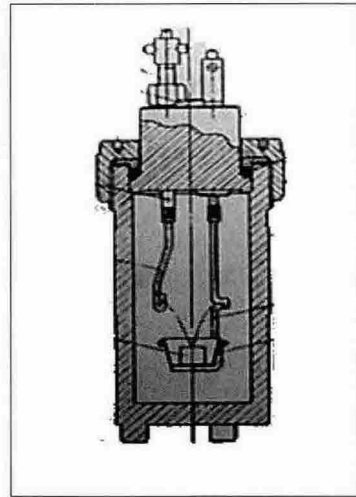
농업부산물 바이오매스 발생량의 조사는 현장을 직접 방문하여 단위 면적당 작물 또는 과수의 식재수를 확인하고, 개체별 발생량을 모아서 무게를 측정하였다. 열량분석과 함수비 측정을 위한 시료를 수집하였다. 자료의 대표성을 확보하기 위해서 품목별로 10개 내외의 다른 과수원 혹은 농지를 조사하였다. 조사 대상지역은 과수의 경우 경기도 안성시를 포함 충청북도 충주시를 포함하였으며, 발작물은 안성시를 중심으로 하였다. 발생시기에 대한 조사는 현장 조사 및 설문을 통해서 수행하였다. 시료채취 등 현장조사는 1월 초에 시작해서 3월 중순에 완료하였다.

2. 함수비 및 열량

현장조사 시기에 얻은 시료는 당일 2~3 cm 로 절단한 후, 105℃ 조건에서 24시간 건조하여 함수비를 측정하였다. 열량은 Bomb 열량계를 이용하여 측정하였다. 열량분석은 1 mm 내외의 미세분말로 만들어 바이오매스 종류별로 혼합시료를 만들어 2반복으로 하였다. 점화에 필요한 점화선과 분말로 만들어진 시료를 싸기 위해 이용된 내피지의 열량



a) Main body with thermometers



b) Bomb

Fig. 1 Bomb Calorimeter (Yoshida Inc., 1013-B)

은 별도로 제하여 열량을 계산하였다. 열량분석을 위한 시료는 건조하지 않은 시료와 완전 건조한 시료 2가지를 이용하였다. 완전건조 시료는 앞에서 함수비 측정에서와 같은 조건에서 건조하였으며, 미건조 시료는 현장에서 채취한 시료를 약 2~3주 정도 실내에서 보관한 시료로서 발열량 측정 직전에 별도로 함수비를 측정하였다. Fig. 1은 본 연구에서 이용된 Bomb 열량계이다.

3. 원소분석

원소분석기를 이용하여 시료별 C, H, N, S 등의 기본적인 원소에 대한 구성비를 파악하였다. 원소 분석기내에서 시료는 약 1800℃에서 연소된 후, 반응관에서 환원되고 컬럼을 통과하면서 원소별로 이동속도가 다르기 때문에 분리되어 검출기에서 검출되어 그 성분비를 알 수 있다. 원소분석에는 CE Instrument 사의 EA1110을 이용하였으며, O를 제외한 C, H, N, S의 네가지 항목에 대하여 2반복으로 분석하였다. 시료는 105℃에서 24시간동안 건조하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농업부산물 바이오매스의 발생량 및 발열량

단위면적당 식재 수와 부산물 양을 현장에서 직접 측정하여 얻은 결과는 Table 1에 제시된 바와 같다. 유지작물이나 고추와 같이 열매를 수확하고 나머지는 농지에 부산물로 남게되는 경우에는 농지

에 남아 있는 가지 등이 전량 활용이 가능하다. 따라서 발작물의 부산물은 뿌리부는 제외하고 지표면 상부에 노출되어 있는 가지 전체를 부산물로 간주 하였다. 반면에 과수는 전지된 가지를 모아서 과수 1 주당 발생량을 측정하고 과수 1 주당 거리를 측정하여 단위면적당 바이오매스 발생량을 산정하였다.

단위면적당 바이오매스 발생량은 발작물이 평균 0.3 kg/m², 과수에서는 포도의 경우 최대 5.1 kg/m²까지 나타났다. 전지 직후에 채취된 과수의 가지는 대체로 40% 이상의 함수율을 보였다. 포도는 상대적으로 낮은 함수비를 보였다. 함수비가 가장 높게 나타난 복숭아는 전지 당일에 채취한 시료가 많았기 때문이다. 단위면적당 발생량이나 함수비는 과수원의 재배년수, 관리상태 등에 따라서 크게 차이를 확인할 수 있었다. 반면에 고추나 유지작물은 가을철 수확 후 노지에 방치되어 함수비가 20% 미만으로서 매우 낮았다. 현장조사 결과, 특히 고추 가지와 같은 부산물은 모아서 소각하고 있기 때문에 농지에서 일정기간 자연 건조시킨 다음, 체계적인 수집, 수거체제를 갖추어 활용한다면 이

Table 1 Summary on sampling, unit production and on-site moisture contents of biomass

Biomass	No. of samples	Year of growth	Location	Sampling Time (month)	Unit production (kg/m ²)	Moisture content (%)
Pear	17	1-20	Ansung, Chungju, Pyongtaeck	1-2	0.213~1.344	54.5
Grape	13	1-20	Ansung, Suwon	1-2	0.337~5.104	37.3
Apple	4	5-15	Chungju	1-3	0.051~0.591	48.1
Peach	5	3-10	Chungju, Suwon	1-2	0.085~0.957	41.4
Pepper	10	1	Ansung, Chungju, Pyongtaeck	1-2	0.215~0.454	15.5
Sesame	6	1	Ansung, Chungju, Pyongtaeck	1-2	0.088~1.040	16.7

용 가능성이 매우 높다.

열량계를 이용하여 측정된 건조된 바이오매스의 단위중량당 열량은 Table 2에 제시된 바와 같이 4,500 kcal/kg 내외의 범위로 나타났다. 문헌에 의한 저위발열량은 포플러가 4,620 kcal/kg, 기타 목재의 경우 대체로 4,500 kcal/kg의 범위에 있다 (Honda, 1986). 고추와 유지작물의 부산물이 목질계인 과수 가지에 비해 약간 낮은 열량을 가지고 있으나 비슷한 수준임을 알 수 있다. 이들 발작물의 부산물은 Table 1에서 언급한 바와 같이 함수비가 낮아 건조를 위한 전처리가 필요없이 소각이나 열화학적 공정에 활용될 수 있다.

일반적으로 회분함량비가 1%이고 습량기준 함수비가 10% 정도인 목재의 경우 약 4,000 kcal/kg 내외, 농업 부산물은 회분의 비율이 5~20% 수준으로서 함수비가 습량기준 10% 수준에서 저위발열량은 3,000~3,500 kcal/kg의 범위에 있다. 이러한 바이오매스를 열분해 또는 탄화공정을 통해서 숯과 같은 고형 연료로 전환시키는 경우 발열량은 약 2배정도 높아져 목재에서 얻어진 숯이 7,500 kcal/kg, 농업부산물에서 얻어지는 숯은 약 6,000 kcal/kg 정도의 저위발열량을 갖는다(Wereko-Brobby and Hagen, 1996). 축분은 회분함량이 대체로 20~25%이며 습량기준 함수비가 30% 수준일 때 2,400 kcal/kg이므로 축산분뇨의 처리와

연계하여 에너지를 회수하는 방안도 고려할 만하다.

농업부산물 바이오매스는 주로 동절기에 집중적으로 발생하는 것으로 나타났다. 과수의 전지 시기는 2월 전후에 이루어지는 것으로 나타났다. 거봉과 같은 포도의 일부 품종은 가을철에 전지가 이루어지기도 하나, 배, 사과, 거봉을 제외한 포도, 복숭아 등 대부분의 과수는 전지 시기가 2월 전후로 대체로 비슷하였다. 반면에 고추나 유지작물은 가을철 수확 후부터 대부분 농지에 방치되기 때문에 이 때부터 활용이 가능한 것으로 나타났다. 지역이나 재배자의 여건에 따라서 발작물의 부산물이 동절기 이전에 단순 소각되는 경우도 있었으나 많은 경우에 있어서 봄철까지 농지에 그대로 방치되다가, 봄철 영농기 이전에 소각되는 것으로 나타났다. 따라서 발작물의 부산물은 가을철 이후부터 활용이 가능한 것으로 분류할 수 있다. 특히 수확 후 발작물 부산물은 일정기간이 지난 후에는 함수비가 10% 내외로 매우 낮아져서 연료로서의 가치가 매우 높다.

2. 원소 구성

원소분석기를 이용하여 얻어진 시료별 원소의 구성은 Table 3에 제시된 바와 같이 대부분 C가 45% 내외, N이 1% 이하, H가 6% 내외로 나타났다. 목재의 원소구성 비율이 C가 50% 내외, H가 6.5% 내외, N이 0.1%이하, O가 40% 수준이고 회분은 0.2~2.2%를 차지하는 것과 비교하면 (Honda, 1986), 전지된 가지의 경우 N이 상대적으로 많고 H와 C가 다소 적음을 알 수 있다. 전지된 가지는 수피의 비율이 상대적으로 많아 회분과 N이 일반 목재에 비해 다소 높게 나타난 것으로 보인다. 일반적으로 회분함량이 1% 수준인 목질계 바이오매스에 비해 회분함량이 20% 정도인 부산물 바이오매스는 열량이 약 19% 정도 낮은 것으로 알려져 있다(Wereko-Brobby and Hagen, 1996).

Table 2 High heating values of biomass samples

Biomass	Dry basis high heating value (kcal/kg)	Wet basis high heating value (kcal/kg)
Pear	4,532	2,702(35.1)
Grape	4,486	3,176(22.9)
Apple	4,599	2,933(32.8)
Peach	4,601	3,599(24.1)
Pepper	4,469	4,089(11.3)
Sesame	4,384	3,957(12.4)

() : moisture contents in % after 2 week indoor drying

Table 3 Results of elemental analysis for biomass samples

Biomass	Nitrogen(%)	Carbon(%)	Hydrogen(%)
Pear	0.70	46.54	5.95
Grape	0.65	48.66	6.10
Apple	0.66	46.42	6.00
Peach	0.93	47.62	6.02
Pepper	1.16	42.29	5.65
Sesame	0.65	44.65	6.02

* Sulfur is below the detection limit

3. 단위면적당 에너지 및 부존량

단위면적당 농업부산물의 발생량과 습량기준 발열량을 이용하여 단위면적당 에너지 밀도를 환산한 결과는 Table 4에 제시된 바와 같다. 여기에서 재배면적은 2001년도를 기준으로 하였다. 포도 재배지에서의 부산물 에너지 밀도가 가장 높은 7,117 kcal로 나타났고, 사과가 가장 낮은 1,003 kcal로 나타났다. 전지된 가지의 단위면적당 중량과 직접적인 관계를 갖는다. Hong et al.(1989)에 의한 조사결과에서는 사과가 가장 높은 에너지 부존가치를 갖는다고 하였으나, 본 연구에서는 다소 낮은

수치를 보였다. 본 연구에서 조사된 사과밭의 단위면적당 바이오매스 발생량이 낮게 나타났기 때문이다. 사과의 경우 시료채취가 4곳에서만 이루어졌으므로 이에 대한 보완조사가 요구된다. 보다 정확한 에너지 밀도를 제시하기 위해서는 과수에 대해서는 재배년수나 관리 현황 등을 포함한 조사가 추가되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구의 현장조사에서 재배년수나 품종 등에 따라서 발생량이 크게 차이가 있는 것으로 파악되었기 때문에 발생량에 대한 정확한 자료를 구하기 위해서는 장기적이고 다양한 조건에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다.

안성시, 경기도, 그리고 전국을 기준으로 계산된 에너지량을 석유환산톤으로 계산한 결과, 각각 12,113, 67,707, 598,310 TOE(원유환산톤)로 나타났다. 에너지 전환효율이나 가채량 등을 고려할 때 부존량의 일부만이 연료로 전환이 가능하겠지만, 해당 부산물이 집중적으로 발생하는 단지별 이용계획을 수립하여 적절한 규모를 결정하고 활용설비를 갖추어 이용한다면 활용성이 크다고 볼 수 있다. 특히 최근에 여러 분야에서 활용되고 있는 지리정보시스템을 이용한다면, 부존자원의 분포에 기초한 활용시설의 배치와 운영계획도 어렵지 않게 수립될 수 있을 것이다.

Table 4 Biomass energy production for different biomass

Biomass	Unit energy production* (kcal/m ²)	Ansung		Kyonggi		National	
		Area(ha)**	TOE	Area(ha)**	TOE	Area(ha)**	TOE
Pear	3,437.8	1,271.7	4,371.8	4,345	14,937	25,535	87,783
Grape	8,118.2	830.0	6,738.7	3,485	28,192	26,803	217,591
Apple	1,459.5	52.8	77.1	381	556	26,328	38,426
Peach	1,748.6	51.9	90.8	1,038	1,815	14,412	25,201
Pepper	1,401.8	353.4	495.4	6,073	8,513	76,395	107,091
Sesame	1,683.6	201.4	339.1	8,134	13,694	72,595	122,218
Total		17,849.5	2,761.2	12,112.9	23,456	67,707	242,068

* Dry basis high heating value TOE : tons of oil equivalent (10⁷ kcal)

** from Annual statistical reports at <http://www.anseong.go.kr>, <http://www.gyeonggi.go.kr>, <http://www.maf.go.kr>

전지된 과수의 가지는 펠감이나 현장 조각으로 처분하거나 과수원 주변에 모아 방치하고 있는 것으로 나타났다. 재배년수가 오래된 과수원에서 발생하는 가지는 비교적 직경이 크고 펠감으로서 활용가치가 높아 농가에서 활용하는 경우가 많았고 잔가지는 주변에서 태워버리거나 여유 부지에 모아 그대로 방치하는 상태로 나타났다. 과수원에서 발생하는 전지된 과수가지에 대한 발생특성, 이용현황 등의 자료는 앞으로 장기적인 조사가 요구된다. 또한 본 연구에서는 언급되지 않았으나 산지에서 발생하는 간벌목 등이 농업부산물과 함께 활용할 수 있는 자원으로 포함하여 바이오매스 에너지이용계획을 수립한다면 보다 적용가능성이 높아질 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

대체에너지 자원으로써 최근 그 활용가능성을 높이 평가받고 있는 농업부산물의 부존특성에 대하여 기본조사연구를 수행하였다. 조사대상 농업부산물은 전지된 과수의 가지를 포함하여 고추와 같은 일부 발작물을 중심으로 단위면적당 발생량과 함수비, 그리고 발열량 등을 파악하였다. 벚지이나 왕겨는 현재 사료나 깔짚 등으로 대부분 활용되고 있기 때문에 본 연구에서는 포함하지 않았다. 현장조사 결과, 부산물의 발생은 동절기에 집중되며, 단위면적당 발생량은 발작물이 평균 0.3 kg/m^2 , 과수의 경우 최대 5.1 kg/m^2 까지 나타났다. 과수의 경우 재배년수나 품종에 따라서 발생량이 크게 변화하는 것으로 파악되어 앞으로 장기적인 조사가 요구된다. 발열량 조사결과 조사된 모든 농업부산물이 완전 건조 시 $4,000 \text{ kcal/kg}$ 이상을 가지고 있으며, 발작물은 가을철 이후 대기습도의 영향으로 함수비가 20% 미만으로 활용조건이 양호한 것으로 나타났다. 조사된 발열량은 기존의 자료와 유사한 수준으로 나타났다. 자동원소분석기에 의한 원소조성비는 탄소와 수소의 구성비율이 각각 45%, 6% 내외

로 나타났다. 질소는 대부분 1% 미만이고 황은 검출한계 미만으로 나타났다. 조사된 자료와 지역별 해당 작물에 대한 경지면적을 이용하여 단위면적당 에너지생산량을 산정해 본 결과 경기도 안성시의 경우 12,113 TOE로 나타났으며, 경기도 전체는 67,707 TOE, 국내 전체를 대상으로 했을 때 약 598,310 TOE로 추정되었다. 이러한 기초자료는 보다 구체적으로 과수단지 또는 지역별로 도입이 가능한 발전량 등을 추정하는데 활용이 될 수 있으며, 마을단위 바이오매스 이용시설 규모를 추정하는데 적용될 수 있다.

과수 부산물의 경우 재배년수에 따라 부산물 발생량이 크게 달라지므로 이에 대한 추가의 조사가 요구된다. 본 조사연구에서 얻어진 결과는 앞으로 농촌지역에서 바이오매스자원의 활용계획을 수립하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 산림에서 발생하는 간벌 부산물 등 농촌지역에서 발생하는 각종 부산물을 포함시킨다면 농촌지역에서의 바이오매스자원 활용 가능성은 더욱 높아질 것으로 전망된다.

본 논문은 2003년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

References

1. Ministry of Commerce, Industry, and Energy (MOCIE), 2003, Statistics of MOCIE : Resource and Energy <<http://www.mocie.go.kr>> (in Korean)
2. Kang, Y. H., 1998, Potential and status of Korean renewable energy technologies, Workshop on Renewable Energy <<http://www.ksdn.or.kr/resource/eco/eco01/e010012.htm>> (in Korean)
3. Hong, J. J., G. W. Moon, J. S. Lee, J. K. Jho, S. K. Yoo, G. S., Jung, D. K. Lee, 1989,

- Assessment of Biomass Resources and Energy, Korea Institute of Energy Research. (in Korean)
4. Honda, A., 1986, Biomass Energy, Energy Saving Center, (in Japanese)
 5. Bridgewater, A. V., 1995, The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation, Fuel 74(5) pp. 631-653.
 6. Wereko-Brobby, C. Y. and E. B. Hagen, 1996, Biomass Conversion and Technology, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England.
 7. Walsh, M. E., 1998, U. S. Bioenergy crop economic analyses: Status and needs, Biomass and Bioenergy 14(4):341-350.
 8. Warren, T. J. B., R. Poulter, R. I. Parfitt, 1995, Converting biomass to electricity on a farm-sized scale using downdraft gasification and a spark-ignition engines, Bioresource Technology 52:95-98.