

Investigation on Regional Distribution of Potential Energy Production with Agricultural By-Products in Agricultural Sector

Woo-Kyun Park*, Sun-Il Lee, Jung-Du Shin, Gun-Yeob Kim, Yi-Hyun Kim, and Kyu-Ho So

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea

(Received: September 9 2013, Accepted: September 23 2013)

The objectives of this study were to estimate the potential biomass yield by using the biomass conversion index and evaluate the potential energy production by using the energy conversion index of biomass. Estimating the total biomass yield in Korea showed 9,646.3 thousand tons produced in 2012. Subsequent evaluation of the potential energy production using the estimated biomass yield in 2012 indicated that the calorific values were varied from 3,800 to 4,500 kcal kg⁻¹ for crop- and from 4,100 to 4,300 kcal kg⁻¹ for woody-based biomass, respectively. Among the examined biomass materials, the pruned branch of a nut tree appeared to be the greatest in bio-energy production showing 6,300 kcal kg⁻¹ in calorific value. Total potential energy production from agricultural by-products was estimated approximately at 3,966,000 TOE. Among the agricultural by-products examined, rice straw showed the greatest energy production potential being at 2,321,000 TOE. Furthermore, it might contribute to establishing the countermeasures of biomass utility in agricultural sector based on regional distribution chart of the potential biomass and energy yields in Korea.

Key words: Biomass, Agricultural By-products, Biomass conversion index, Potential biomass energy production

For estimating the potential biomass yields and energy productions with agricultural by-products, it was observed that the yield of potential energy for biomass of 20 crops was high in the order of Rice straw>Pepper stem>Apple branch>Grape branch.

Crop	Production	Biomass total yield (1000ton y ⁻¹)	Energy per Unit (kcal kg ⁻¹)	Energy potential (1,000 TOE)
Paddy rice	straw	5,717.5	3,903	2,321.5
	husks	992.1	4,061	402.9
Pepper	Stem	681.9	4,301	293.3
Apple	Branch	499.5	4,421	220.8
Grape	Branch	420.4	4,156	174.7

*Corresponding author : Phone: +82312900239, Fax: +82312900206, E-mail: sunrise7000@korea.kr

§Acknowledgement: this study was conducted by support of NAAS research and development project(project number: PJ907236).

Introduction

바이오에너지는 과거 저가의 원유생산 비용 등으로 개발이 저해되어 왔으나 현재 및 가까운 미래의 화석연료의 불안감으로 인하여 국가적 에너지 안보 유지, 저탄소 에너지 해결에 사회·정치적 초점이 되고 있다. 화석연료의 이용 가능한 양은 지속적으로 감소되고 이를 대체하기 위한 에너지의 필요성이 높아지며, 온실가스의 증가로 인한 범지구적인 기후변화 및 저탄소 에너지 정책의 대안 중의 하나로 제시되고 있다. 멀지 않은 장래 현실화 될 화석연료의 고갈과 세계 경제의 어려움 속에서 확대 생산되는 재생에너지 시장은 불확실성과 온실가스 의무화라는 가까운 장래예측 등에 따라 경제적 이익과 환경 및 개발과의 조화에 부응하는 새로운 패러다임이 요구하고 있다.

국내 농업분야에서 발생하는 바이오매스의 양은 연간 1,160 만톤으로 추정되고 있으나 자원 순환활용에 대한 연구가 거의 없는 실정이다 (Park et al., 2011). 그러나 유럽 등에서는 농업부문 바이오매스인 옥수수대, 유채대, 밀짚 및 보릿짚과 같은 식물체 잔사, 축산분뇨, 음식물쓰레기 등이 대체에너지 생산을 위한 원료로 사용되고 있다. 독일 운데 마을에서는 농가에서 발생하는 밀, 옥수수, 해바라기 등의 줄기대와 가축분뇨를 발효하여 생산한 바이오가스(메탄, CH₄)를 이용하는 바이오매스 열병합 발전소를 2005년 건설하여 연간 5,000 MWh의 전력을 생산하고 있으며, 마을에서 소비하는 약 2,000 MWh/년의 전력을 제외한 잉여전력은 판매하여 수익을 창출하고 있다. 또한 전력 생산과정에서 발생하는 열과 온수는 6 km 정도의 배관망을 통하여 각 가정으로 공급하여 난방에너지를 절감하고 있다. 이를 통하여 운데마을은 지역자본으로 발전소를 건설·운영하여 석유나 석탄에 종속되지 않는 에너지 자립을 확보하였고, 에너지 비용절감 및 부산물 재활용으로 경제적 효과를 얻었으며, 추가적으로 연간 3,300 ton CO₂ 정도의 온실가스를 저감하여 세계적으로 유명한 에너지 자립마을의 명성을 얻고 있다 (Kim, 2009). 바이오매스의 자원순환 활용은 환경친화적 농자재로 CO₂ 배출량 감소와 함께 바이오에너지 생산 원료로도 활용이 가능하여 에너지 절약에 기여할 수 있을 것이다. 19세기 이전까지 전 세계적으로 가장 많이 이용된 주 에너지 자원은 바이오매스 (biomass)이며, 현재도 일부 저개발 국가에서 바이오매스를 통한 에너지원으로 공급받고 있다 (Son et al., 2007). 국제 통계에서도 현재 약 10% 정도의 목질계 바이오매스를 통한 에너지공급이 이루어지고 있으며, 또한 곡물, 농업부산물, 축산분뇨, 음식물쓰레기 등이 바이오매스로서 에너지원으로 이용되고 있다.

우리나라의 에너지 수입의존도는 96.4%로 이 중 석유의 비중이 38.2%로 가장 높고 신재생에너지의 비중은 3.0%로 낮은 수준 (MKE and KEEI, 2012)이기 때문에 에너지 의존

도를 낮게 유지할 수 있는 장기적인 에너지 수급 정책이 요구되고 있다 (Kim et al., 2009). 이에 따라 최근 대체에너지에 대한 관심 증대로 바이오매스의 에너지화가 부각되고 있는데, 바이오매스를 활용한 화석연료 대체와 환경문제 해소, 지구온난화 방지 등의 효과와 안정적인 공급이 가능한 에너지원으로 평가되고 있다. 농촌지역에서 발생하는 각종 바이오매스 자원은 관리되지 않을 경우 주변 환경에 부정적인 영향이 나타날 수 있지만 적절히 활용할 경우 재생에너지의 개발과 환경보전의 효과를 얻을 수 있다 (Hong, 2004). 그러나 농업 바이오매스 자원이 산재되어 있어 수집 및 수송에 어려움이 있으므로 효율적인 에너지화 정책 및 활용방안 제시 등이 필요하다.

바이오매스는 모든 식물과 동물의 자양분 그리고 가정과 산업체로부터 발생하는 배출물과 바이오 폐기물을 포함하는 탄소가 풍부한 소재이다 (Deublin and Steinhäuser, 2008). 농업으로부터 미 사용된 것이나 폐기된 바이오매스 잔사는 잠재 에너지를 가지지만, 이러한 물질은 중요한 환경문제를 유발시키는 온실가스 배출원이 될 수 있다. 작물과 동물의 잔류물로부터 잠재에너지 생산은 지구전체로 총 70 EJ 중에 약 34 EJ로 평가 된다 (Bauen et al., 2004). 바이오매스는 인간과 자연 활동으로부터 소산된 모든 유기성 물질로부터 유래된 신재생 에너지원이다. 그것은 탄수화물, 지방 및 단백질과 같은 유기물질의 혼합물이다. 식물 바이오매스의 주요 구성 성분은 바이오매스 형태에 따라 다양할 수 있는 탄수화물 및 리그닌들이다. 탄수화물은 주로 섬유질을 지지하는 리그닌과 식물체 구조를 강화하는 셀룰로스 및 hemi-cellulose 섬유질로 구성되어 있다. 따라서 유채대, 벧짚, 보릿짚 및 밀짚과 같은 식물체 잔사로서 바이오매스는 대체연료 자원으로서 좋은 원료가 될 수 있다. 또한 왕겨와 벧짚은 주요 농업부산물 중의 하나이며, 벼 도정과정의 부산물로서 매년 전 세계적으로 상당한 양이 발생된다. 벧짚은 벼 건물중의 약 50%를 차지한다. 수확한 곡물 톤당 벧짚 1.35 톤이 논에 버려진다. 벧짚은 단위당 생산량이 높기 때문에 Ligno-셀룰로스의 자원으로서 높은 잠재성을 지닌다. 그러나 일반적으로 이러한 식물체 잔사의 수거와 폐기가 어렵고 비용이 많이 들기 때문에 논에 방치하거나 단순히 소각시킨다. 이로 인해 환경적인 문제가 야기된다. 왕겨나 벧짚과 같은 유기물을 바이오에너지와 같은 더욱더 가치 있고 농축된 형태로 전환시키는 것은 석유고갈에 대비하는 하나의 방안이 될 수 있기 때문에 체계적인 바이오매스 에너지 잠재 부존량 조사 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 농업부문에서 발생하는 주요 농작물을 대상으로 바이오매스 에너지 잠재 부존량을 추정하고 바이오매스 발생 지역별 분포 특성에 대하여 고찰하고자 하였다.

Materials and Methods

연구방법 우리나라 농촌지역에서 발생되고 있는 농업 부산물에 대한 바이오매스 자원으로 미곡, 맥류, 서류, 잡곡 및 과수부산물 등이 있다. 본 연구에서 작물의 선정은 연중 통계자료 활용이 가능한 작물과 발생량이 많은 농업부산물을 대상으로 하였다. 농작물 재배면적 및 생산량은 농업통계연보 자료를 활용하였으며(MIFAFF, 2012), 자료 수집은 문헌조사, 현장조사, 통계조사 및 정책자료 등을 활용하였다 (Park et al., 2011). 바이오매스 에너지 잠재 발생량은 바이오매스 에너지 잠재량 환산계수를 산정하여 대상 연도의 작물 생산량을 기준으로 산정하였다. 주요 농산부산물의 원소분석은 Elemental analyzer (EA1110 Automatic Elemental Analyzer, CE Instruments, Italy), 발열량은 Bomb Calorimeter (Parr 6200, Parr Instruments, USA)를 이용하여 분석하였다.

바이오매스 에너지 잠재 부존량 산정 방법 농업부문 바이오매스 에너지 원단위 산정은 바이오매스의 발열량을 분석하고 단위중량으로 열량 환산계수를 결정하였다. 주요 농업부산물에 대한 바이오매스 에너지 잠재 부존량은 Park et al. (2011)의 자료를 바탕으로 바이오매스 잠재 발생량에 에너지 원단위를 곱하여 산출하였다. 에너지 원단위는 에너지 잠재부존량을 계산할 때 필요한 단위중량당 에너지량 (kcal kg⁻¹)을 계수로 산정한 값으로 사용하였다.

바이오매스의 고위발열량 분석 주요 농업부산물의 에너지값은 고위발열량 분석방법에 따라 고위발열량 (kcal/kg)

을 PARR 6200 분석기로 측정된 발열량(Measured HHV)과 Elemental analyzer 원소분석기로 분석한 원소함량을 이용하여 산출하였다. 고위발열량은 아래와 같이 Dulong 식 (Dulong equation)을 적용(Apostol T. and M. Marculescu, 2006)하였으며, 고위발열량(Theoretical HHV)과의 차이를 비교하였다.

$$HHV(kcal/kg) = 78.31C + 359\left(H - \frac{O}{8}\right) + 22.12S + 11.87O + 5.78N$$

※ C: carbon, H: hydrogen, O: oxygen, S: sulfur N: weight percent of nitrogen

Results and Discussion

주요 농작물의 재배면적과 수량변화 및 바이오매스 자원 특성 농촌지역 바이오매스 자원의 잠재발생량 추정에 필요한 바이오매스 환산계수를 산정하기 위하여 2003-2008년의 5년간의 주요 농작물의 재배면적과 생산량의 변화를 조사하였다(Table 1). 벼의 경우 2003년 1,001 천ha에서 2008년 927 천ha로 매년 꾸준히 감소하여 약 7.4%의 재배면적이 감소된 것으로 나타난 반면, 벼 생산량은 ha당 2003년 6,090 kg에서 2008년 6,940 kg로 증가된 것으로 나타났다. 과수 중 배의 경우 2003년 재배면적은 24 천ha에서 ha당 13,160 kg의 생산량을 나타낸 반면, 2008년 재배면적 18 천ha에서 ha당 25,760 kg을 생산하여 재배면적은 감소하였으나 생산량은 증대된 것으로 나타났으며, 전체적으로 주요 농작물의 재배면적은 지속적으로 감소되고 있지만 생

Table 1. Changes of cultivation areas and yields for major crops.

	Crop	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Rice	Cultivated area (ha)	1,001,519	983,560	966,838	945,403	942,223	927,995
	Yield per area (kg/10a)	609	679	661	664	630	694
Common barley	Cultivated area (ha)	8,966	8,559	7,760	7,601	7,548	8,082
	Yield per area (kg/10a)	386	446	487	438	502	464
Sweet potato	Cultivated area (ha)	14,161	16,570	17,178	16,668	21,093	19,451
	Yield per area (kg/10a)	1,898	2,084	1,645	1,715	1,670	1,693
Soybean	Cultivated area (ha)	80,447	85,270	105,421	90,248	76,267	75,242
	Yield per area (kg/10a)	131	163	174	173	150	176
Red pepper	Cultivated area (ha)	57,502	61,894	61,299	53,097	54,876	48,825
	Yield per area (kg/10a)	230	25	263	220	292	253
Sesame	Cultivated area (ha)	35,036	31,843	33,971	31,077	31,321	28,794
	Yield per area (kg/10a)	34	66	69	50	56	68
Apple	Cultivated area (ha)	26,398	26,676	26,907	28,312	29,358	30,026
	Yield per area (kg/10a)	1,384	1,339	1,366	1,440	1,484	1,569
Asian pear	Cultivated area (ha)	24,061	22,982	21,807	20,656	19,888	18,277
	Yield per area (kg/10a)	1,316	1,966	2,033	2,089	2,350	2,576

산량은 증가되고 있는 것으로 나타났다.

작물 부산물의 경우에도 재배면적이 감소하여 부산물의 발생량이 감소되는 것이 아니라 일조시간, 육종관리, 품종 개량 등의 요소가 농작물 생산성에 영향을 미치기 때문에 농업부산물의 발생량도 차이가 나타날 수 있다. 그러나 농촌지역에서 발생하는 이용 가능한 농업부산물의 발생량을 추정하는데 있어 대부분 재배면적을 기준으로 발생량을 산

정하고 있기 때문에 비교적 정확한 통계를 산정하는데 한계를 극복하기 위하여 현지조사와 통계자료를 이용하여 농산물의 재배면적으로부터 수확량을 산출하여 바이오매스 환산계수를 산정한 바 있다 (Park et al., 2011). 미곡 부산물은 농림통계연보의 자료를 바탕으로 하였고, 미곡을 제외한 작물은 바이오매스 환산계수를 이용하여 부산물 발생량을 추정하였다.

Table 2. Evaluation of total biomass yields and available potential energy productions for different biomass types (KRRRI, 2007).

Biomass type	Natural resources		Available potential		References
	wet weight (ten thousand ton/year)	Energy (ten thousand TOE/year)	wet weight (ten thousand ton/year)	Energy (ten thousand TOE/year)	
Agricultural waste	1,185	400	300	105	Hong et al., (1991)
Livestock manure	4,684	90	156	3.0	Lee et al., (1999)
Food waste	430	17	130	5	Lee et al., (1999)
Forest resources	1,200	510	200	85	Hong et al., (1991)
Paper and wood waste	540	108	160	32	Lee et al., (1999)
Wastewater sludge	169	3	85	2	Lee et al., (1998)
Total	8,208	1,128	1,031	231.6	

Table 3. Estimating the calorific values per unit for crops.

	By-products	Calorific values per unit weight (kcal kg ⁻¹ , Dry weight)	References	Energy per Unit (kcal kg ⁻¹)	
Rice	straw	3,755-4199	3,312 (Park)	3,903	
			3,418 (Hong)		
	husks	4,057-4,066	3,433 (Park) 3,616 (Hong)		
Barley	Straw	3,784-4,208	3,653 (Park)	3,946	
			4,100 (Hong)		
Naked barley	Straw	3,780-3,810	4,100 (Hong)	3,790	
Wheat	Straw	3,823-4,275	3,978 (Hong)	4,049	
Potato	Haulm	-	4,107 (Lee)	4,107	
Sweet potato	Haulm	4,109-4,161	4,534 (Hong)	4,133	
Corn	Straw	3,950-4,234	4,097 (Hong)	4,104	
Foxtail millet	Haulm	4,076	-	4,076	
Buck wheat	Haulm	4,566-4,586	-	4,576	
Soybean	Stalk	4,171-4,291	4,044 (Park)	4,081	
			4,069 (Hong)		
Red bean	Shell	3,961-3,982	-	3,971	
			4,183-4,363		-
			4,239-4,355		-
Mung bean	Stalk	4,219	-	4,219	
			Shell		4,179
Pepper	Stem	4,111-4,278	4,469 (Hong)	4,301	
Sesame	Stem	3,848-4,268	4,384 (Hong)	4,077	
Perilla seed	Stem	3,969-4,315	-	4,195	
Peanut	Stem	3,972-4,168	-	4,059	
Rape	Stem	4,209	3,970 (Park)	4,209	

주요 농작물 바이오매스 열량 환산계수 산정 농촌 지역에서 발생하는 이용 가능한 바이오매스 자원 및 에너지 잠재 부존량을 파악하기 위해 통계자료 및 문헌조사를 실시하였다 (Table 2). 농업부산물은 연간 1,185 만톤의 부존자원에서 약 30% 정도인 300 만톤의 가용 잠재량으로 105 만 TOE 정도의 에너지량을 가지고 있는 것으로 나타났고, 임

산자원은 연간 약 1,200 만톤의 임목축적에 의한 부존자원이 발생되어, 이 중 연간 약 200 만톤의 가용 자원으로 85 만TOE 정도의 잠재 에너지를 보유하고 있는 것으로 보고하고 있다 (Hong et al., 1991). 또한 농산 바이오매스의 부존량을 추정하기 위해 발열량 및 부존량을 고려하여 적정 바이오매스를 선정하고, 선정된 바이오매스 자원의 부존 특성을

Table 4. Estimating the calorific values per unit for woody plants.

By-products		Calorific values per unit weight (kcal kg ⁻¹ , Dry weight)	References	Energy per Unit (kcal kg ⁻¹)
Apple	Branch	-	4,599 (Hong)	4,421
			4,320 (Hong)	
Persimmon	Branch	4,155-4,240	-	4,210
Pear	Branch	4,293-4,319	4,532 (Hong)	4,306
Grape	Branch	4,111-4,239	4,486 (Hong)	4,156
Peach	Branch	4,216-4,267	4,601 (Hong)	4,246
Chestnut	Branch	4,320-6,278	-	4,137

Table 5. Estimating the potential biomass yields and energy productions with agricultural by-products.

Crop	Production	Biomass total yield (1000ton y ⁻¹)	Energy per Unit (kcal kg ⁻¹)	Energy potential (1,000 TOE)
Paddy rice	straw	5,717.5	3,903	2,321.5
	husks	992.1	4,061	402.9
Barley	straw	24.2	3,946	9.5
Naked barley	straw	42.6	3,790	16.1
Wheat	straw	30.9	4,049	12.5
Potato	Haulm	112.0	4,107	46.0
Sweet potato	Haulm	217.0	4,133	89.7
Corn	Straw	87.5	4,104	35.9
Buck wheat	Haulm	3.3	4,576	1.5
	Stalk	129.4	4,081	52.8
Soybean	Shell	54.0	3,971	21.4
	Stalk	4.2	4,302	1.8
Red bean	Shell	1.4	4,297	0.6
	Stalk	1.8	4,219	0.8
Mung bean	Shell	0.6	4,179	0.3
	Stem	681.9	4,301	293.3
Pepper	Stem	55.2	4,077	22.5
Perilla seed	Stem	187.5	4,195	78.6
Peanut	Stem	19.3	4,059	7.8
Apple	Branch	499.5	4,421	220.8
Persimmon	Branch	105.5	4,210	44.4
Pear	Branch	190.6	4,309	82.1
Grape	Branch	420.4	4,156	174.7
Peach	Branch	67.9	4,246	28.8
Total		9,646.3		3,966.3

※ Biomass yield : Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook (MIFAFF, 2012). in korea. Based on crop yield

조사한 바 있다 (Hong et al., 2005).

이는 농작물 재배에 있어서 바이오매스 생산량에 영향을 많이 받을 수 있는 환경요인 즉, 조사시기, 기상조건, 품종, 비배관리 등이 동일한 조건에서 가능할 것이다.

이러한 환경변화를 최소화하기 위해서 미곡 부산물은 농림통계연보의 자료를 바탕으로 하였다. 미곡을 제외한 작물은 재배면적과 재배면적당 부산물 생산량 비율을 이용하여 산정한 바이오매스 환산계수 (Park et al., 2011)를 활용하여 바이오매스 잠재 발생량을 추정하였다. 주요 농업부산물의 에너지 원단위 산정은 바이오매스의 발열량을 분석하고 단위중량으로 열량 환산계수를 결정하였다. 초분류는 벼 등 17작물을 대상으로 21종에 대하여 에너지 원단위를 산정한 결과 바이오매스 kg당 약 3,800-4,500 kcal 범위를 보였다 (Table 3).

문헌조사를 통한 볏짚, 왕겨 등 초분류의 발열량은 여러 연구자에 의하여 보고되고 있으나 일부 작물에 국한되어 있으며, 단위 중량당 발열량에도 차이를 보이고 있다(Park et al., 2007, Lee et al., 2008, Hong et al., 1989, 2007). 또

한 현장에서 채취한 시료를 분석한 결과 볏짚, 왕겨, 보리짚, 유채 줄기 등은 문헌보다 다소 높은 발열량을 보였으며, 옥수수, 조, 콩줄기, 콩깍지 등은 문헌과 유사한 결과를 보였다.

목질계의 에너지 원단위는 바이오매스 kg당 약 4,100-4,300 kcal 범위를 보였는데, 밤나무 전정가지는 6,200 kcal로 다소 높은 경향을 보였다 (Table 4).

주요 농업부산물의 에너지 잠재 부존량 및 에너지 값 비교 주요 농업부산물에 대한 바이오매스 에너지 잠재 부존량은 바이오매스 잠재 발생량에 에너지 원단위를 곱하여 산출하였다. 주요 농업부산물의 에너지 잠재 부존량은 볏짚이 연간 2,321 천 TOE로 가장 높게 나타났으나 (Table 5), 볏짚 및 왕겨는 다른 바이오매스에 비해 이용률이 높아 에너지 전환으로 사용할 수 있는 가능량은 더 적을 것으로 판단된다. 기타 농작물의 에너지 잠재 부존량은 고추대(줄기)가 연간 293 천 TOE, 사과 전정가지 220 천 TOE, 고구마 줄기 89 천 TOE, 콩대 52 천 TOE에 해당되는 양이었다 (Table 5).

Table 6. Ratios of measured and theoretical calorific values for major agricultural by-products.

Crop	Higher Heating Value(kcal kg ⁻¹)		Measured/ Theoretical	
	Measured HHV	Theoretical HHV		
Rice Straw	3,903	5,092	0.76	
Rice Husks	4,061	3,954	1.02	
Barley Straw	3,946	6,028	0.65	
Naked barley Straw	3,790	5,120	0.74	
Wheat Straw	4,049	6,080	0.65	
Sweet potato Haulm	4,133	4,074	1.01	
Corn Straw	4,104	5,259	0.76	
Foxtail millet Straw	4,076	5,742	0.79	
Buckwheat Haulm	4,576	2,903	1.57	
Soybean	Stalk	4,081	7,372	0.55
	Shell	3,971	5,933	0.70
Red bean	Stalk	4,302	5,965	0.72
	Shell	4,297	6,963	0.62
Red pepper Stem	4,301	4,461	0.96	
Sesame Stem	4,077	5,054	0.81	
Perilla seed Stem	4,195	6,116	0.68	
Peanut Stem	4,059	4,870	0.83	
Rape seed Stem	4,209	5,022	0.84	
Tomato Haulm	3,957	4,300	0.92	
aubergine Haulm	3,949	4,279	0.92	
Persimmon Branch	4,210	5,007	0.84	
Pear Branch	4,306	4,810	0.89	
Grape Branch	4,156	4,755	0.87	
Peach Branch	4,246	4,822	0.88	
Chestnut Branch	4,137	4,879	0.85	

초본류 바이오매스 중 목질계 성분이 높은 팔줄기, 고추대 (줄기), 들깨대 (줄기) 등의 발열량이 높은 것으로 나타났다. 발열량계로 측정한 고위발열량과 원소함량을 이용한 이론적 고위발열량의 비는 0.55~1.57로 넓은 범위로 나타났다 (Table 6).

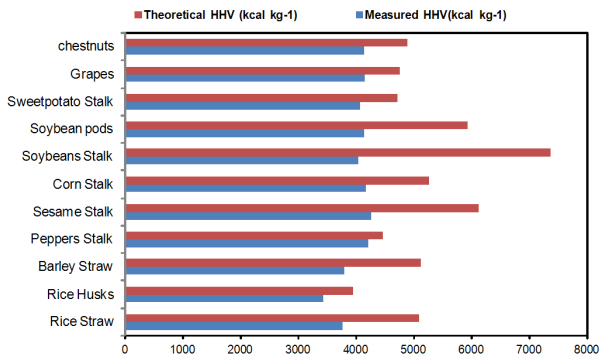


Fig. 1. Comparison of measured and theoretical calorific values for major agricultural by-products.(11 crop)

Fig. 1과 같이 주요 농업부산물의 에너지값은 실제 측정된 발열량보다 이론적으로 계산된 발열량이 대체적으로 높게 나타났으며, 초본류 보다 목질계 바이오매스의 발열량이 높게 나타났다.

농업부문 바이오매스 에너지 잠재량의 지역별 분포 특성

농촌지역에서 발생하는 대표적인 바이오매스 자원은 벃짚을 꼽을 수 있는데, 전국적인 발생 분포는 충남, 전북과 전남이 발생밀도가 높음을 보여주고 있다 (Fig. 2). 고추대는 전남, 경남이 사과 전정가지는 충북과 경북에서 높은 밀도를 보여주고 있다. 벃짚을 제외한 기타 바이오매스 발생량은 경북과 경남이 높게 나타났다.

농업부문 바이오매스 자원의 잠재에너지 부존량은 바이오매스 자원 잠재발생량과 같은 경향을 보이고 있는데 벃짚의 잠재에너지 부존량의 전국적인 분포는 충남, 전북과 전남이 발생밀도가 높음을 보여주고 있다 (Fig. 3). 고추대는 전남, 경남에서 사과 전정가지는 충북, 경북과 경남에서 높

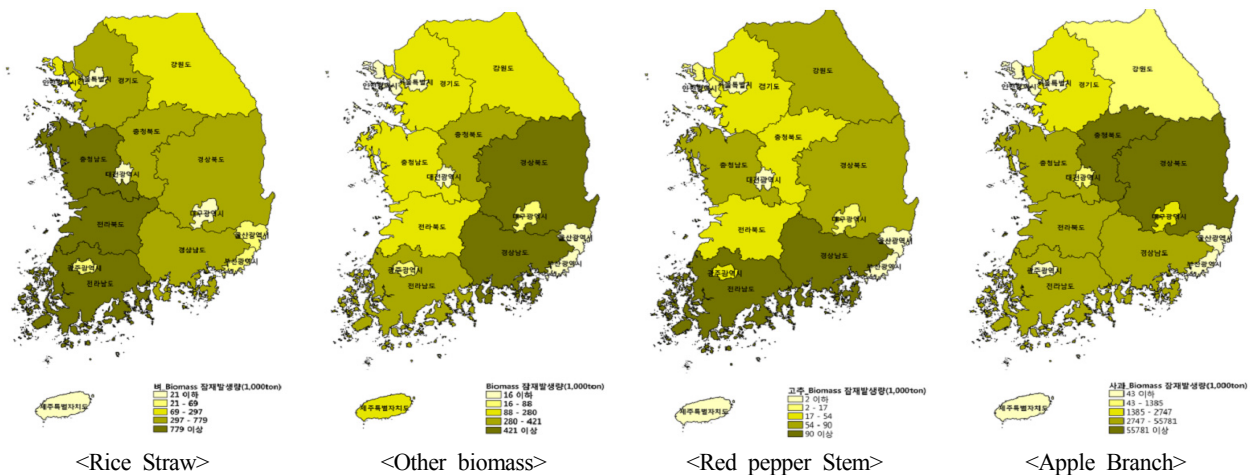


Fig. 2. Regional distribution chart of potential major biomass yields in agricultural sector.

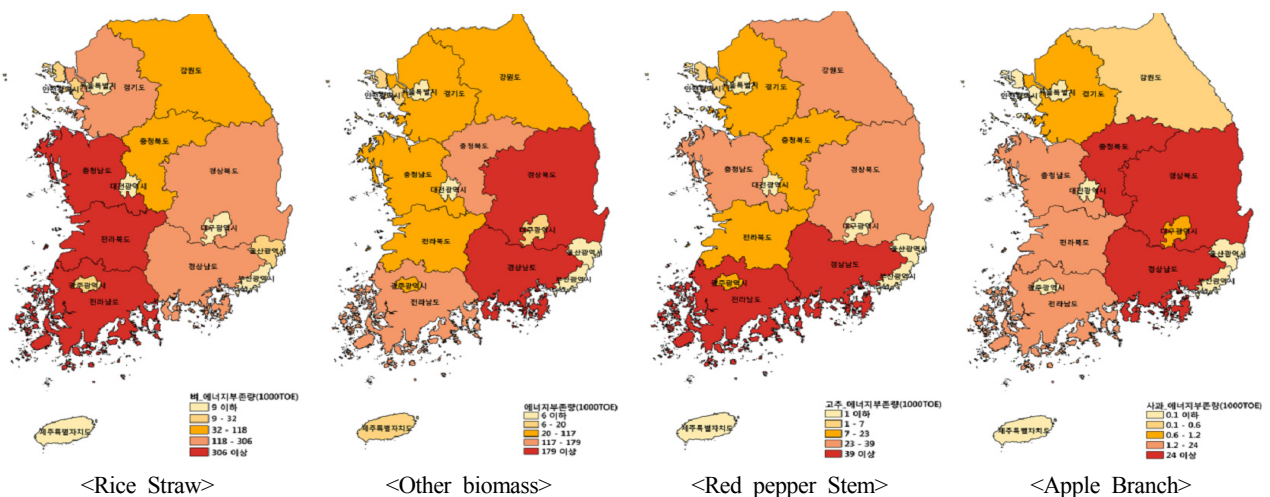


Fig. 3. Regional distribution chart of potential energy production in agricultural sector.

은 밀도를 보여주고 있다. 기타 바이오매스 자원의 잠재에너지 부존량은 경북, 경남에서 높게 나타났다. 잠재량과 잠재 에너지 분포의 차이는 밀도 범위 설정에 따른 차이로 보여진다.

Conclusion

농촌지역에서 발생하는 이용 가능한 농업부산물의 발생량을 추정하는데 있어 대부분 재배면적을 기준으로 발생량을 산정하고 있기 때문에 비교적 정확한 통계를 산정하는데 어려움이 있다. 이를 해소하기 위하여 현지조사와 통계자료를 이용하여 농산물의 재배면적으로부터 수확량을 산출된 바이오매스 환산계수를 적용하여 바이오매스 잠재 발생량을 추정하였다. 또한 바이오매스 에너지환산계수를 이용하여 잠재 부존량을 추정하였다. 에너지원단위 산정은 바이오매스의 발열량과 단위중량으로 열량 환산계수를 결정하였는데 초본류의 에너지 원단위는 바이오매스 kg당 약 3,800-4,500 kcal 범위를 보였으며, 목질계의 에너지 원단위는 바이오매스 kg당 약 4,100-4,300 kcal 범위를 보였는데, 밤나무 전정가지는 6,200 kcal로 다소 높은 경향을 보였다. 농업부산물의 에너지 잠재 부존량은 연간 약 3,966 천 TOE 였으며, 이 중 벼짚이 2,321 천 TOE로 가장 높게 나타났다. 또한 농업부문 주요 바이오매스 자원 잠재발생량 및 지역별 에너지 잠재 부존량 분포도를 작성하여 농업부문 바이오매스 활용계획 수립에 이용 가능할 것으로 판단된다. 그러나 농촌지역 바이오매스의 효율적인 이용을 위해서는 바이오매스의 연중 안정된 수급 및 보급 가능한 이용체계 확립이 우선되어야 할 것으로 사료된다.

References

Apostol T. and M. Marculescu. Management of solid wastes, Editor AGIR, 2006. 29-31, ISBN 973-720-060-8.
 Bauen A., J. Woods, and R. Hailes. 2004. Bioelectricity vision: Achieving 15% of electricity from biomass in OECD countries by 2020. Imperial College London.
 Deublein D. and A. Steinhauser. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources : An Introduction, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN 978-3-527-31841-4.

Hong, E.M. and J.Y. Choi. 2007. Biomass and bioenergy : potential estimation and current status and outlook, KCID J. 14(2):255-260.
 Hong, J.J., G.W. Moon, J.S. Lee, J.K. Jho, S.K. Yoo, G.S. Jung, and D.K. Lee. 1989. Assessment of biomass resources and energy, Korea Institute of Energy Research (in Korea).
 Hong, J.J. 1991. Biomass resources survey and Energy evaluation (III), Korea Institute of Energy Research Report (KE-91031G).
 Hong, S.G. 2004. Evaluation of agricultural biomass resource for renewable energy: biomass from orchards and non-paddy fields, J. of KSAE, 46(3):85-92.
 Hong, S.G. 2005. Production and Effective Use of Fuel Gas from Agricultural Biomass. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF). GOVP1200609924.
 Kim, J.I. 2009. Energy Independence town furtherance and regional activation strategies, Regioninfo No.157 (in Korea).
 Kim, Y.H., J.J. Nam, S.Y. Hong, E.Y. Choe, S.G. Hong and K.H. So. 2009. Establishment of database and distribution maps for biomass resources, Korean J. Soil Sci. Fert. 42(5):379-384.
 KRRRI. 2007. The research for the biomass utilization status and the development as energy resources in rural area.
 Lee, H.T. 1998. Status of Technology Use and Reduction of Sludge, Incineration Technology Symposium (1998.8.29. SunChon National University, in Korea).
 Lee, J.P., K.R. Hwang, and S.C. Park. 2008. Estimation method of potential biomass resources in Korea. J. of KSES, 332-336.
 Lee, Y.U. 1999. Environmental Industry overview, Institute of Environmental Management (in Korea).
 MIFAFF. 2012. Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook.
 Ministry of Knowledge Economy and Korea Energy Economics Institute. 2012. Energy Statistical Yearbook. ISSN 1226-606X.
 Park, H.T., Y.J. Kim, S.M. Lee, and H.S. Han. 2007. Agricultural biomass policy direction and strategy for the activation (2/2 year). Korea Rural Economic Institute, Report R545.
 Park, W.K., N.B. Park, J.D. Shin, S.G. Hong, and S.I. Kwon. 2011. Estimation of Biomass resource conversion factor and potential production in agricultural sector, Korean J Environ Agric. 30(3):252-260.
 Son, Y.M., K.H. Lee, and R.H. Kim. 2007. Estimation of forest biomass in Korea. Journal of Korean Forestry Society, 96(4):477-482.