



[2017-3-BM-003]

한국의 에너지용 바이오매스활용을 위한 농업부산물 잠재에너지량 추정 및 한국형 수거모델에 관한 연구

이충건¹⁾ · 이상열¹⁾ · 주상연¹⁾ · 조라훈¹⁾ · 박선용¹⁾ · 이서현¹⁾ · 오광철¹⁾ · 김대현¹⁾*

A Study on Agricultural by-products for Biomass-to-energy Conversion and Korean Collecting Model

Chung Geon Lee¹⁾ · Sang Yeol Lee¹⁾ · Sang Yeon Joo¹⁾ · La Hoon Cho¹⁾ · Sun Yong Park¹⁾ ·
Seo Hyeon Lee¹⁾ · Kwang Cheol Oh¹⁾ · Dae Hyun Kim¹⁾*

Received 13 September 2016 Revised 11 January 2017 Accepted 2 February 2017

ABSTRACT The worldwide interest in renewable energy has been growing over the last few decades because of the environmental destruction and abnormal climate caused by the use of fossil fuel. Accordingly, the demand to convert agricultural by-products that are discarded in Korea to bioenergy is increasing, but the absence of a collection system for agricultural by-products and low economic efficiency are significant obstacles. This study referred to the literature of previous studies for the selection of agricultural by-products that can be practically utilized. Sweet potatoes, corn, beans, peppers, sesame seeds, sesame, and peanuts were selected as the main agricultural products that can produce usable by-products. Persimmon, pears, grapes, peaches, and apples were selected as a fruit tree by-product. As a result, the amount of potential energy from the selected crops was calculated to be 1,222,243 TOE, which can be converted 51.9% of the energy consumption in agriculture. The by-product harvesting model, which is suitable for Korea, was presented. This assists in the expect utilization of agricultural by-products for biomass energy production in the Republic of Korea.

Key words Agricultural by-products(농업부산물), Bio-energy(바이오에너지), Collecting model(수거모델), Energy conversion(에너지전환)

1. 서론

최근 지속적인 화석연료사용으로 지구온난화 및 자외선 증가로 인한 농작물 수확량 감소^[1], 해수면 상승 등과 같은

이상기후현상이 잇따라서 발생하고 있다. 따라서 세계적으로 환경 친화적인 에너지에 대한 관심이 증대되고 있으며, 탄소중립연료로 지정된 바이오매스에너지에 대한 지속적인 기술개발 및 연구 활동이 증가하고 있다. 바이오매스에너지는 식물계(목질계, 초본계), 폐기물계로 구분되어지며, 국내에서는 식물계 바이오매스를 가공한 고형연료의 사용이 증대되고 있다. 현재 국내에서는 바이오매스 고형연료 공급량의 대부분을 목질계 바이오매스가 차지하고 있고 이

1) Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University

*Corresponding author: daekim@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6496 Fax: +82-33-259-5561

중 수입비중이 약 95%^[2]로 수입의존율이 높고 자급률이 현저히 낮다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 매년 발생 후 버려지고 있는 초본계 및 목질계 바이오매스인 농업부산물 활용에 대한 다양한 연구들이 시도되고 있다. 이에 따라, 농업부산물을 바이오매스 에너지로 이용하는데 있어 국내 현황으로 국내에너지소비량 및 농업부문에너지소비량은 Table 1과 같으며 국내에너지 총 소비량 200,347 천TOE 기준 농업부문에서 에너지소비량은 산업부문에 속해 있으며 농림어업부문 에너지소비량은 Table 2와 같다.

농업부문에서의 에너지소비량은 총 2,352,960.4TOE로서 국내에너지 총 소비량의 약 1.17%에 해당하며 그중 농업기계용으로 쓰이는 석유계 에너지가 약 55.06%이고 건물이나 장비 및 설비에 쓰이는 에너지가 연탄을 포함한 석유계로 44.94%이다. 이러한 국내 에너지 소비량 중 신재

생에너지가 차지하는 비중은 국내바이오매스 이용실태와 활성화 방안에 관한 보고서에 따르면 2012년 기준 3.18%이며, 신재생에너지 공급비중에서 바이오에너지가 차지하는 비율은 15.08%로서 Table 3, 4와 같다.

이러한 국내 바이오에너지 공급비중 중 바이오매스는 대부분을 목질계 바이오매스에 의존하고 있고 농업부문 바이오매스는 실질적으로 이용되지 못하고 있다. 목질계 바이오매스의 이용형태는 대체적으로 우드칩, 펠릿, бри켓과 같은 형태로 이용되고 있으며 이중 대중적으로 이용중인 목재 펠릿을 기준으로 소비량 및 수입량은 아래 Table 5와 같다.

따라서, 농업부산물 활용에 앞서 농업부산물을 이용한 바이오매스에너지는 경제성측면에서 생산지역에서 바로 소비가 이뤄질 수 있는 구조가 적합한 것으로 판단되며, 본 연구에서는 국내에서 발생하는 농업부산물을 분석하여 에

Table 1. Domestic energy consumption by sector^[3]
(Unit : 천TOE)

Devide	2013 year	The component ratio
Industry	118,991	59.4
Transportation	40,281	20.1
Home	22,110	11.0
Commerce of the public	18,965	9.5
Total	200,347	100.0

Table 2. Energy consumption in the agricultural sector^[3]
(Unit : TOE)

Divide	Total	Agricultural machine	Architecture	Equipment and facilities
Total	2,352,960.4	1,295,492.6	212,869.9	844,597.8
briquet	183,026.1	-	-	183,026.1
Oil Subtotal	1,254,624.2	944,766.5	79,662.5	230,195.2
Gasoline	102,915.1	102,727.8	-	187.3
Kerosee	178,867.5	163,328.9	5,910.3	9,628.4
Dissel	967,955.9	678,709.9	73,752.3	215,493.8
Bunker-A	4,885.7	-	-	4,885.7
Bunker-B	-	-	-	-
Bunker-C	-	-	-	-
Propane	-	-	-	-
Butane	-	-	-	-
Gas	-	-	-	-
Power	915,310.1	350,726.1	133,207.4	431,376.5

Table 3. Renewable energy supply portion(2012)

Devide	The component ratio
Waste	67.8
Bio	15.1
Water	9.2
Solar Photovoltaic	2.7
Solar Thermal	0.3
Wind	2.2
Ocean	1.1
Fuel cell	0.9
Geothermal	0.7
Total	100.0

Table 4. Annual Bioenergy Production^[5]

Devide	Unit	2008	2009	2010	2011	2012
Wood chip	TOE	13,320	20,075	132,230	163,022	164,542
Pellet	TOE	29,186	24,102	23,053	24,591	23,857
	ton	69,489	57,358	54,888	58,551	56,802
Forestry fuel	TOE	41,236	49,309	23,419	23,665	56,481
	ton	147,271	159,918	69,344	69,372	187,297
Wood pellet	TOE	-	53,577	23,766	50,995	120,055
Wood waste	TOE	-	-	-	146,632	140,874
black liquor	TOE	-	-	-	-	228,337
Sewage sludge, solid fuel	TOE	-	-	-	-	17,159

Table 5. Annual production and sales of wood pellets^[2]

(Unit : ton)

year	Total		Domestic		Imported	
	Supply	Consumption	Supply	Consumption	Supply	Consumption
2009	20,569	18,216	8,527	6,174	12,042	12,042
2010	33,981	33,751	13,088	12,858	20,893	20,893
2011	64,013	62,917	34,335	33,239	29,678	29,678
2012	173,790	174,068	51,343	51,621	122,447	122,447
2013	550,271	551,455	65,603	66,787	484,668	484,668
2014	1,940,103	1,737,274	90,462	82,562	1,849,641	1,849,641

너지용 바이오매스로 활용되어질 수 있는 작물을 선정하고 그에 따른 농업부산물 잠재 에너지량을 이론적 접근방식으로 추정하고자 한다.^[4] 또한 농업부산물을 에너지원으로서 활용하기 위한 한국형 수거모델을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 에너지용 바이오매스 활용을 위한 농작물 선정

2.1.1 국내 농업부산물 발생현황

현재 국내에서 생산되는 농작물은 벼를 비롯하여 밭작물, 과수전정지 등 종류가 매우 다양하다. 이중 주요 농작물과 그에 따른 부산물 생산량은 아래 Fig. 1과 같다. 벼에서 생산되는 볏짚과 왕겨가 전체량의 68%(6,058,453ton)를 차지하고 다음으로 사과전정가지 7%(623,664ton), 포도전정가지 5%, 고추대 3% 순으로 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이를 크게 벼부산물, 과수전정지, 밭작물로 분류한 후 바이오매스 고형연료인 펠릿과 бри켓 등과 같은 에너지용 바이오매스로서의 활용가능성을 파악하였다.^[6]

2.1.2 벼 부산물

벼 부산물의 경우 볏짚과 왕겨로 구분할 수 있다. 볏짚과 왕겨는 생산량 비중이 68%로 압도적으로 높은 것을 확인할 수 있으나 볏짚의 경우, 퇴비로의 이용비율이 60%, 가축사료로의 이용비율이 25%, 외부에 판매하는 비율이 8%로서 수요처가 확실하고 수요와 공급이 활발히 이루어지고 있어 에너지용 바이오매스로서의 이용이 어려운 실정이다. 왕겨의 경우, 퇴비로의 이용비율이 83%, 가축사료 및 축산농가의

깔개로의 이용비율이 10%정도로 왕겨 또한 볏짚과 같이 에너지용 바이오매스로서의 이용이 어려울 것으로 판단된다.^[6]

2.1.3 과수 전정지

농업부산물 중 과수 전정지는 목질계 바이오매스로서 전체 생산량의 16%를 차지하고 있다. 과수 전정지는 Fig. 1과 같이 사과, 포도, 배, 감, 복숭아 등으로 처리방식은 파쇄 후 퇴비로의 이용비율이 42~61%, 소각하여 버리는 비율이 25%, 방치하는 비율이 3~8%로서 미활용 부산물량이 많아 에너지용 바이오매스로서 활용가능성이 매우 높다고 판단할 수 있다.^[6]

2.1.4 밭작물

국내에서 생산되는 밭작물의 종류는 다양하다. 그 중 생

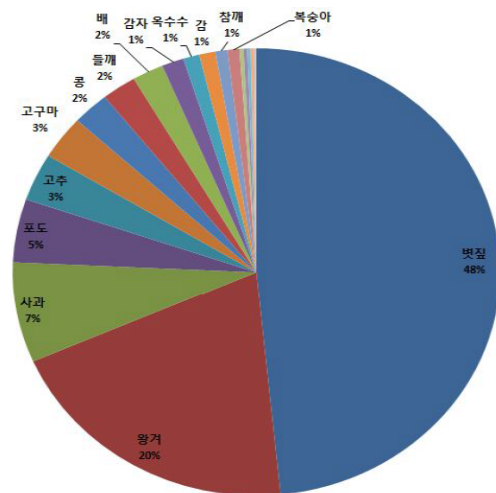


Fig. 1. Agricultural by-products^[6]

산량이 높은 주요작물은 고추, 콩, 참깨, 들깨, 땅콩, 옥수수 등이 있다. 이러한 발작물의 농업부산물 처리방식은 농산물 수확이 종료된 후 일정기간 방치 후 소각하여 버리거나 경운작업 후 토양환원을 통해 처리하는 방식이 주를 이루고 있다. 소각의 경우, 인근지역의 산불발생 우려가 있고 토양환원 시 농작물의 뿌리활착 지연, 초기생육저해 등과 같은 문제점이 발생할 우려가 있다.^[7] 따라서 주요발작물의 부산물은 대부분이 미활용되고 있어 에너지용 바이오매스의 활용가능성이 매우 높고 앞서 언급된 문제점까지 개선할 수 있을 것으로 판단된다.^[6]

2.1.5 에너지용 바이오매스활용을 위한 농작물 선정

앞서 확인된 농업부산물 중 벼부산물을 제외한 사과, 배, 포도, 복숭아, 감과 같은 과수전정지는 현재 에너지용 바이오매스로 주로 이용되는 목질계 바이오매스로서 활용가능성이 높다. 또한 고추, 콩, 참깨, 들깨, 땅콩, 옥수수 등의 발작물은 현재 처리방식으로 인한 산불발생, 토양환원 시 이듬해 농작물생육에 방해요인으로 작용하기 때문에 버려지는 농업부산물의 재활용 측면에서 에너지용 바이오매스로 활용이 필요한 것으로 판단되며 이러한 농업부산물을 활용 시 바이오매스고형연료인 펠릿이나 브리켓과 같은 형태로의 이용이 가능 할 것으로 판단된다.

2.2 농업부산물 잠재량 및 잠재에너지량

2.2.1 농업부산물 잠재량 산정

농업부산물 잠재량을 파악하기 위해 통계청 자료를 이용하여 지역별 농산물의 단위면적당 생산량을 파악하고 재배면적과 RPR(Residue Production Ratio)를 곱하여 농업부산물의 잠재량을 산출한다(식 (1)).^[3]

$$ABA = \text{Product per area} \times \text{Acreage} \times RPR \quad (1)$$

2.2.2 농업부산물 잠재 에너지량 산정

앞서 선정된 농작물을 대상으로 농업부산물 잠재 에너지량을 예측할 수 있는 식을 정립하였다. 잠재 에너지량 예측 식은 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.^[8,9]

$$Q_{ar} = \sum_{i=1}^n (ABA - (MC.AB - MC.P) \times ABA) \times HHV \quad (2)$$

위의 식 (2)는 농업부산물 원료의 생산량에서 바이오매스 고형연료의 가공 적정함수율까지 건조 시 감소되는 중량감소분을 고려하여 적정함수율에서의 고위발열량을 곱한 값으로 잠재 에너지량을 산출 할 수 있다. 식 (2)에서 ABA(Agricultural By-products Amount)는 농업부산물의 원료량이고 MC.AB(Moisture Contents of Agricultural By-products)는 농업부산물 원료의 초기 함수율이며, MC.P(Moisture Contents of Processing)는 바이오매스 고형연료로 가공하기 위한 적정함수율이고 HHV(High Heating value)는 고위발열량이다.

2.3 한국형 수거모델

한국형 수거모델을 정립하기 위해서 먼저 지역별 농업부산물의 생산량과 생산농가의 규모를 파악하여야 한다. 국내 특성상 1.5ha(약 4,500평)를 기준으로 대규모, 소규모 농가로 구분할 때 소규모 농가의 비율은 77.68%로서 대규모 농가에 비해 소규모농가가 국지적으로 산개해 있는 형태를 띠고 있다. 대규모 농가의 경우 농업부산물 활용을 위한 수거가 용이한 반면 소규모농가의 경우 농가의 분포 특성상 농업부산물 수거가 어려운 상황이다. 따라서 국내에 적용 가능한 농가 규모에 따라 적절한 공정형태와 장비 등을 고려하여 대규모 농가는 특정일에 맞춰 장비가 이동하여 농업부산물 수확작업을 거친 후 운송을 하는 형태이며, 소규모농가의 경우, 농업부산물 수거에 필요한 장비를 권역단위로 보유하여 운송업체가 이동하며 수거하는 형태로 모델을 확립하여야 한다.^[10]

2.4 농업부산물의 수거형태

농업부산물을 활용하기 위해서는 수거와 운송방법이 매우 중요한 요소이다. 목질계 바이오매스인 목재의 경우는 원상태로 운송하거나 임목부산물의 경우, 파쇄하여 칩형태로 운송을 한다. 임업부산물의 경우 일정한 형태를 가지지 않는 더미로 집적했을 경우 부산물간에 공극이 많아 상대적으로 부피에 비해 중량이 낮은 편이다. 대부분의 농업부산물 또한 형태가 임목부산물과 같이 집적 시 부산물간의

공극으로 인해 압축 또는 파쇄를 통한 칩형태의 수거형태가 적당할 것으로 판단된다.

2.5 기존 수거사업

기존에 국내에서 시행되고 있는 사업 중 영농폐기물 수거사업이 있다. 영농폐기물 수거사업 또한 국내의 경지규모별 농가 형태에 따라 소규모 농가를 위주로 수거사업형태가 정립되어 있다. 영농폐기물 수거사업은 아래 Fig. 2와 같은 형태로 진행되어지고 있다.^[6]

영농폐기물 수거사업은 자원의 절약과 폐비닐, 농약병, 봉지 등으로 인한 환경오염방지를 위하여 시행되고 있다. 현재 정부가 영농자재 생산자에게 징수한 폐기물 부담금을 정부지원금과 함께 한국자원재생공사와 민간수집상에게 지원하여 농민으로부터 영농폐기물을 수거하는 형태이다(Fig. 2). 그러나 영농폐기물 수거사업은 지자체 및 농민의 참여 저조, 산간·오지 등에서 발생하는 소량의 폐기물, 폐기물 처리시설 용량부족 등의 문제로^[11], 수익성이 낮은 단점이 있다. 따라서 영농폐기물 수거사업의 문제점을 수정·보완하여 농업부산물 수거모델에 적용할 시 소규모 농가에서 발생하는 농업부산물을 활용하는데 적절할 것으로 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 농업부산물 잠재량

시장상황 및 현재 농가의 부산물 처리방식을 고려한 에너지용 바이오매스로 이용할 수 있는 농업부산물은 인용문헌에서 2010년 기준 약 320 만톤으로 Table 6과 같이 나타났다.^[12] 본 연구에서는 2013~2015년의 3년간의 통계

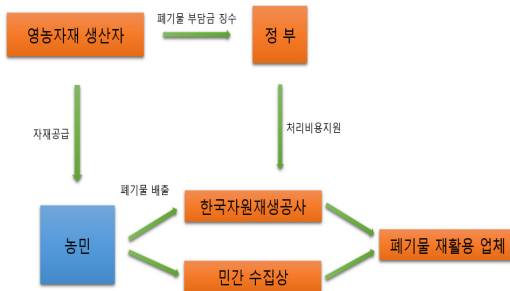


Fig. 2. Agricultural Waste harvesting Model

청자료^[13]와 인용문헌^[12]에서의 농업부산물 환산계수를 이용하여 농업부산물 잠재량을 추정한 결과 2,796,709톤에서 2,888,399톤으로 산출되었으며 Table 7과 같다. 농업부산물 잠재량은 2015년 기준 사과나무 전정가지 25.56%, 고추대 24.60%, 포도전정가지 14.00%순으로 나타났다.

3.2 농업부산물 잠재 에너지량

앞서 예측된 농업부산물 잠재량을 이용하여 식 (2)를 통해 산출된 잠재 에너지량은 Table 8과 같으며, Table 8에서 ABA, MC, AB, MC, P는 식 (2)에 쓰인 인자로 각각 농업부산물 잠재량, 원료의 함수율, 가공적정 함수율이다. Table 8에서 고추, 참깨, 들깨는 원료의 함수율이 가공적정 함수율보다 낮기 때문에 함수율을 적용하지 않았다.

바이오매스 가공 적정함수율은 20%를 기준으로 하여 산출하였다. 이는 목질계 바이오매스의 경우 자연건조를 통해 최대 20% 안팎으로 건조가 진행된다.^[14] 또한 바이오매스를 고형연료인 펠릿 또는 бри켓 형태로 가공 시 바이오매스는 파쇄 후 분쇄공정을 거쳐 성형작업을 실시한다. 바이오매스 칩은 분쇄공정을 거친 후 함수율이 감소하게 된다. 또한 성형작업에서는 고압과 기계의 마찰로 인한 고열

Table 6. Potential amount of agricultural by-products (Ref. 12)

Crop	By-product	Product (ton)	Conversion Factor*	Potential amount of agricultural by-product (ton)
Apple	Branch	470,865	1.316	619,700
Grape	Branch	333,596	1.562	521,100
Pear	Branch	470,745	0.656	308,800
Persimmon	Branch	430,521	0.270	116,200
Peach	Branch	189,064	0.367	69,400
Pepper	Stem	385,763	2.600	1,003,000
Bean	Stem	132,674	1.000	132,700
	Shell		0.417	55,300
Sesame	Stem	19,472	5.800	112,900
Perilla	Stem	24,205	6.140	148,600
Peanut	Stem	7,459	1.780	13,300
	Shell		0.278	2,100
Corn	Stem	92,830	1.189	110,400
Total				3,213,500

Table 7. Potential amount of agricultural by-products

Crop	Year	Acreage	Product per 10 are	Product (ton)	Conversion Factor*	Potential amount of agricultural by-product (ton)
Apple	2013	30,449	1,621	493,701	1,316	649,711
	2014	30,702	1,546	474,712	1,316	624,721
	2015	31,620	1,843	582,845	1,316	767,024
Grape	2013	16,931	1,537	260,280	1,562	406,557
	2014	16,348	1,643	268,556	1,562	419,484
	2015	15,397	1,682	258,950	1,562	404,480
Pear	2013	13,740	2,054	282,212	0,656	185,131
	2014	13,127	2,306	302,731	0,656	198,592
	2015	12,664	2,061	260,975	0,656	171,200
Persimmon	2013	29,153	1,207	351,990	0,270	95,037
	2014	27,988	1,531	428,363	0,270	115,658
	2015	27,034	1,422	384,525	0,270	103,822
Peach	2013	14,633	1,321	193,243	0,367	70,920
	2014	15,539	1,354	210,335	0,367	77,193
	2015	16,704	1,423	237,711	0,367	87,240
Pepper	2013	50,211	595	298,885	2,600	777,101
	2014	40,739	665	270,983	2,600	704,556
	2015	39,392	694	273,271	2,600	710,505
Bean	2013	80,031	193	154,067	1,417	218,313
	2014	74,652	187	139,267	1,417	197,341
	2015	56,666	183	103,504	1,417	146,665
Sesame	2013	23,184	53	12,392	5,800	71,874
	2014	28,370	43	12,158	5,800	70,516
	2015	25,139	46	11,678	5,800	67,732
Perilla	2013	30,130	111	33,347	6,140	204,751
	2014	37,461	115	43,260	6,140	265,616
	2015	42,570	120	50,932	6,140	312,722
Peanut	2013	4,374	249	10,875	2,058	22,381
	2014	4,565	272	12,402	2,058	25,523
	2015	4,589	254	11,651	2,058	23,978
Corn	2013	15,905	506	80,465	1,189	95,673
	2014	15,839	518	82,008	1,189	97,508
	2015	15,356	510	78,243	1,189	93,031
Total	2013					2,797,448
	2014					2,796,709
	2015					2,888,399

로 함수율이 감소하는 현상이 발생한다. 분쇄 후의 바이오매스 분말의 함수율이 약 11~15%일 때 성형 후 국내 펠릿 품질규격^[15]에 의한 1등급 기준, 함수율 8~10%의 펠릿이 성형되기 때문에 가공적성 함수율은 20%내외로 산정해야 한다.

Table 8. Potential energy from agricultural by-products

Crop	Year	ABA* (ton)	MC,AB* (%)	MC,P* (%)	HHV* (kcal/kg)	Potential energy (Gcal)
Apple	2013	649,711	32,80		4541,0	2,572,693
	2014	624,721				2,473,740
	2015	767,024				3,037,225
Grape	2013	406,557	22,90		4599,5	1,815,732
	2014	419,484				1,873,466
	2015	404,480				1,806,454
Pear	2013	185,131	35,10		4752,7	747,012
	2014	198,592				801,325
	2015	171,200				690,798
Persimmon	2013	95,037	28,72		4649,7	441,895
	2014	115,658				537,775
	2015	103,822				482,740
Peach	2013	70,920	24,10		4705,6	333,722
	2014	77,193				363,239
	2015	87,240				410,516
Pepper	2013	777,101	-	20	4729,3	3,675,144
	2014	704,556				3,332,056
	2015	710,505				3,360,189
Bean	2013	218,313	66,10		4508,8	530,554
	2014	197,341				479,587
	2015	146,665				356,432
Sesame	2013	71,874	-		4500,9	323,496
	2014	70,516				317,387
	2015	67,732				304,857
Perilla	2013	204,751	-		4610,8	944,064
	2014	265,616				1,224,704
	2015	312,722				1,441,901
Peanut	2013	22,381	23,03		4437,9	96,314
	2014	25,523				109,838
	2015	23,978				103,187
Corn	2013	95,673	66,10		4549,62	234,613
	2014	97,508				239,112
	2015	93,031				228,135
Total	2013					11,715,237 Gcal
	2014					11,752,230 Gcal
	2015					12,222,433 Gcal

통계청 자료를 기반으로 식 (2)에 의한 농업부산물 잠재 에너지량은 약 1,171만 Gcal~1,222만Gcal로 산출되었다. 이를 석유환산톤(Ton of Oil Equivalent) 원유기준으로 환산했을 시 2015년 기준 1,222,243 TOE에 해당하는 수치이다. 이는 앞서 언급된 국내의 에너지 총 소비량 기준 0,6%가량을 대체할 수 있고 Table 2의 농업부문 에너지

소비량 기준 51.9%가량 대체가 가능한 것으로 아래 Fig. 3 과 같이 나타났다. 본 연구에서 초점을 맞춘 바이오매스 고품연료는 주로 시설원에 또는 가정용의 난방연료로의 사용이 주 용도이며 Table 2의 건물용 및 장비 및 설비에 쓰이는 에너지는 농업부문에너지 소비량 중 44.94%에 해당하며 이는 농업부산물 바이오매스 에너지로 전량 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 한국형 농업부산물 수거모델

농가의 규모별 농업부산물 수거모델은 아래 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

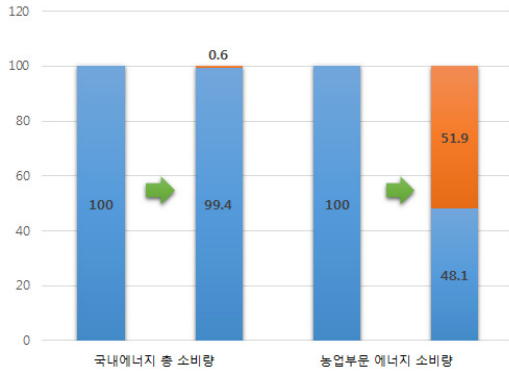


Fig. 3. Replaced energy by agricultural by-products

3.3.1 수거모델 개요

농업부산물 수거모델에 관하여 기존의 모델은 인력에 의한 모으기 작업, 묶기 작업, 집계차에 의한 상차작업으로 제시되었다.^[16] 본 연구에서는 농촌의 고령화와 바이오매스 이용 및 운송에 있어 더 적합한 형태로서 바이오매스의 칩화 및 기계화를 적용하여 수거하는 모델을 구상하였다. 기존모델에 비하여 칩핑(Chipping)된 바이오매스는 운송량이 상승하여 운송효율을 높이며 기계화로 인하여 수거업체 또는 농민의 노동부담을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.2 대규모 농가

농업부산물의 한국형 수거모델 중 대규모 농가의 경우, 일반적인 벧짚수확방법과 같이 농지에 농업부산물을 방치한 상태에서 농기계를 통한 집초 및 수거작업을 실시한 후 파쇄 및 상차작업을 통하여 칩형태로 운송하는 시스템으로 진행된다. 이중 집초 및 수거 작업에서 벧, 보리, 옥수수과 같은 작물은 기존에 있는 농작업 기계를 통한 수거가 용이하지만 현재 밭작물을 수거하는농작업기계의 부재로 이에 대한 개발이 필요하다.

3.3.3 소규모 농가

소규모 농가의 경우, 농기계를 이용하여 농지를 이동하



Fig. 4. Collecting model for agricultural by-products

며 수거할 경우, 경제성이 낮을 것으로 판단된다. 따라서 현재 국내에서 실행되고 있는 영농폐기물 수거사업과 같이 농민의 협조를 구하여 인력으로 수거작업을 하여 한 곳에 집적했을 시 이동식 소형파쇄기와 운반차량을 통한 파쇄 및 상차가 이루어져야 하며 이후 마을단위로 특정구역에 집적을 하고 이를 운송업체 또는 정부기관에서 수거하는 형태로 진행된다. 현재 발작물 또는 과수전정지를 대상으로 하는 이동식 파쇄기에 대한 개발이 미미한 실정으로 이에 대한 개발 역시 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 신·재생에너지 중 탄소중립연료로 지정된 바이오매스인 농업부산물을 활용하고자 이에 대한 잠재 에너지량을 추정하고 이를 활용할 수 있는 방안인 한국형 농업부산물 수거모델에 관하여 연구를 하였다. 농업부산물중 에너지용 바이오매스로 활용이 가능한 작물은 시장상황, 생산량 등을 고려하여 선정하였다. 에너지용 바이오매스로의 활용 가능성을 판단했을 때 국내 농업부산물 중 가장 큰 비중을 차지하는 벼 부산물은 현재 시장이 크게 활성화 되어 있어 사용하기 어려운 것으로 판단하였고 발작물이나 과수 전정지가 미활용 비율이 높아 적합한 것으로 판단되었다. 이를 통해 선정된 주요 농작물의 농업부산물 잠재량을 추정했을 때 잠재량은 2,796,709톤에서 2,888,399톤으로 나타났고 이를 잠재 에너지량으로 계산했을 때 11,715,237 Gcal~12,222,433 Gcal로 산출되었다. 이는 석유환산톤(TOE) 원유기준으로 최대 1,222,243 TOE에 해당하는 것으로 산출되었다. 이는 국내 농업부문 에너지 소비량 기준 약 51.9%를 대체 할 수 있는 에너지량으로서 활용가치가 상당하다고 판단할 수 있다. 따라서 농업부산물의 에너지용 바이오매스로의 이용이 필요할 것으로 사료된다. 농업부산물의 수거를 위해 국내실정에 맞게 소규모와 대규모농가로 구분하여 한국형 수거모델을 정립하였다. 우선적으로 한국형 농업부산물 수거모델은 개인 또는 민간업체가 실행하기에는 아직 농업부산물에 대한 수요나 에너지자원으로의 활용이 이루어지고 있지 않기 때문에 어려운 부분이 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 정부의 지

원 또는 주도하에 농업부산물 활용에 관한 정책이나 기업형 조직에 의한 농업부산물 수거사업이 필요할 것으로 판단된다. 실제로 대만의 사례를 살펴보면 우리나라와 같이 친환경 및 신·재생에너지에 관한 정책을 실시하고 있으나 바이오매스 에너지활용을 위하여 농업정책, 농업개발법 등이 개정되어 에너지용으로 사용될 수 있는 에너지 작물개발 등을 실행하고 있다.^[17] 이러한 정부 부처 간 협동에 의한 적극적인 지원이 있을 시 현재 실행되고 있는 영농폐기물 수거사업과 같이 한국형 농업부산물 수거모델 또한 현실화 가능성이 높다고 판단되며, 농업부산물을 에너지자원으로 이용 시 국내의 에너지 자급율의 상승을 가져올 것으로 사료된다. 추후 농업부산물 수거모델에 관한 경제성 분석, 농업부산물을 이용한 바이오매스 고품질연료생산에 대한 추가적인 연구가 진행되어질 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단(관리번호: 120160853)의 2016년 지역대학 우수 과학자 지원사업 -‘농업부산물의 수확체계 정립 및 에너지로의 변환 방안에 대한 연구’의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Tevini, M, 1990, Molecular biological effects of ultraviolet radiation. In UV-B radiation and ozone depletion, Lewis Publisher, pp. 125-154.
- [2] 2014 Wood pellets statistics (based on end-2014), 2015, Korea forest, [http://www.forest.go.kr/newkfsweb/cmm/fms/BoardFileDownload.do?atchFileId=FILE_000000000553700&fileSn=0&dwldHistYn=N&bbsId=BBSMSTR_1031&fn=2014년 목재펠릿 통계자료\(2014년말기준\).pdf](http://www.forest.go.kr/newkfsweb/cmm/fms/BoardFileDownload.do?atchFileId=FILE_000000000553700&fileSn=0&dwldHistYn=N&bbsId=BBSMSTR_1031&fn=2014년 목재펠릿 통계자료(2014년말기준).pdf)
- [3] Do Yyeong Choi. 2014. 2014Energy Consumption Survey. 산업통상자원부. Korea Energy Economics Institute.
- [4] Woo-Kyun Park, Seung-Gil Hong, Joung-Du Shin, Noh-Back Park, Soon-IkKwon, Seung-Yong Oh, Deog-Bae Lee. 2010. Estimation of Biomass Resources Conversion Factor and Potential Production in Agricultural Sector.

- Korean society of soil science and fertilizer conference. pp. 153-154.
- [5] Yeong Man Yoon. 2014. 국내 바이오매스 이용실태와 활성화 방안. Korea rural economic institute.
- [6] Byeong Sam Kim. 2014. ‘바이오매스 에너지화 추진전략 개발’ 보고서. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(Korea).
- [7] Woo-Kyun Park, Joung-Du Shin, Sun-II Lee, Soon-Ik Kwon, Jung-Hwa Kim. 2013. Analysis of the Biomass Resources Utilization and Processing Status in Agricultural sector. Korean society of soil science and fertilizer conference. pp. 308-309.
- [8] Sagar Kafle, Ranjan Parajuli, Kshitij Adhikari, Seung Hee Euh, Kwang Cheol Oh, Yun Sung Choi & Dae Hyun Kim. 2016. Potential biomass supply for agro-pellet production from agricultural crop residue in Nepal. Energy Sources. pp. 149-153.
- [9] Collins Okello, Stefania Pindozi, Salvatore Faugno, Lorenzo Boccia. 2013. Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda. Biomass and Bioenergy55. pp. 515-525.
- [10] 농림어업총조사. 2014. 통계청 DB <http://kostat.go.kr/wnsearch/search.jsp>
- [11] 2013. 환경복지 확충 및 삶의 질 향상을 위한 농어촌 환경 개선대책. 관계부처합동(환경부, 농림축산식품부, 해양수산부).
- [12] Woo-Kyun Park. 2010. Establishment and Assessment of Biomass Inventory for Bioenergy. 농촌진흥청.
- [13] 농작물생산조사. 2015. 통계청DB. <http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp?query=%EB%86%8D%EC%9E%91%EB%AC%BC%EC%83%9D%EC%82%B0%EC%A1%B0%EC%82%AC>.
- [14] Marco Manzone. 2015. Energy and moisture losses during poplar and black locust logwood storage. Fuel Processing Technology 138. pp. 194-201.
- [15] Su-Min Lee, Byeong-Jun Ahn, O-Gyu Lee, Seok – Hwan Choi, Seong-Taek Cho. 2009. 저탄소녹색성장시대 청정에너지 목재펠릿 품질규격. 산림과학속보09-17. National Institute of Forest Science(Korea).
- [16] Seong-Gu Hong. 2005. ‘농촌지역 바이오매스자원의 최적이용기술개발’ 보고서. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(Korea).
- [17] Wen-Tien Tsai. 2009. Coupling of energy and agricultural policies on promoting the production of biomass energy from energy crops and grasses in Taiwan. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13. pp. 1495-1503.