Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers
DOI : http://dx.doi.org/10.5389/KSAE.2015.57.6.009

Vol. 57, No. 6, pp. 9~20, November 2015
ISSN 1738-3692 | eISSN 2093-7709

농촌지역 바이오매스 에너지 보급 활성화 전략
- 시설재배 난방을 중심으로 -

Strategies for Increasing Biomass Energy Utilization in Rural Areas
- Focusing on heating for greenhouse cultivation -

홍성구*,†
Hong, Seong Gu

Abstract

The demand of renewable energy is expected to grow in the long run in spite of current stable lower oil prices. Energy consumption for heating in horticulture greenhouse is large and affects the profits of the farms. This study analyzed the availability of biomass in rural area and proposed the strategies for utilizing the biomass for greenhouse heating. Data reveal the annual average fuel consumption in greenhouses is about 78 TOE/ha. Considering biomass resource in rural areas, agricultural residues are not sufficient to meet the biomass demand from greenhouses. Therefore it is recommended to secure further biomass including wild herbaceous biomass and woody biomass from forest. Based on the conditions of biomass gasification equipment investment and fuel prices, maximum allowable price of biomass turned out about 100,000 KRW/t to be competitive to kerosine. Biomass supply chain should be established for facilitating biomass trading between biomass consumers and biomass producers such as farmers who provide crop residues. An online trading system is an example of the system where consumers who utilize biomass make payments to suppliers and get the information about the biomass. Intermediate collection storages are required to store biomass from distributed sources. Operation of biomass heating systems in demonstration greenhouses is necessary to get information to refine and further develop commercial biomass heating systems. Relatively large greenhouses are desirable to have biomass heating systems for economic viability. The location of the greenhouse farms should be selected within the area where enough biomass resources are available for feeding the biomass facility.

Keywords: Biomass; Crop residues; Greenhouse heating; Renewable Energy

Ⅰ. 서 론

국내 시설채소 재배면적은 2013년 현재 5.1만 ha로서 2010년도에 잠시 감소하였으나 지속적인 증가추세를 보이고 있다 (MAFRA, 2014a). 겨울철 별도의 열원을 이용하여 가온 재배를 하는 시설 면적은 30 % 수준에 이르며, 유류가 약 90 % 수준으로서 대부분을 차지하고 있다 (Kang, 2012). 시설재배 농가의 전체 경영비 중에서 난방비가 차지하는 비중은 약 30~50 % 수준으로서 시설농가 경영 여건에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 농림축산식품부에 의하면 시설원예 농가를 대상으로 2013년 7월 중 조사한 결과, 전체 45,900 ha의 시설 가운데 무가온이 69.6 %인 31,900 ha, 나머지 30.4 % 약 14,000 ha가 가온 시설로 나타났다 (MAFRA, 2014a). 가온 시설 중에서 폐목, 연탄, 목재 펠렛 등의 고형연료를 이용하는 시설은 가온 시설의 8.4 %, 나머지는 유류, 가스, 전기, 지열 등을 이용하는 것으로 나타났다. 시설난방에 전기를 이용하는 시설은 760 ha, 지열은 116 ha로 나타났으며, 유류를 난방에 이용하는 농가는 가온 농가의 85 %인 11,900 ha에 이르렀다. 유류를 이용하는 시설에서는 경유가 71 %, 8,454 ha로 가장 많았으며, 중유 1,568 ha, 등유 1,406 ha의 순으로 나타났다.

한편, 정부는 지난 1986년부터 농업인의 영농 경영비 절감을 위하여 각종 유류에 부과되는 세금을 면제하고 공급해 왔으나, 당초 취지와는 맞지 않게 이용되거나 부정유통 사례가 발생함에 따라서, 2015년 7월부터 시설원예, 축산 등의 분야에서 농업 난방용으로 사용하는 유종에 대해 면세 경유 공급을 제한하기로 하였다 (MAFRA, 2015). 정부의 조치에 의해 난방용 면세 경유 공급이 제한됨에 따라서 큰 변화가 예상된다. 2013년 기준 농업기계용 면세유류 공급실적을 살펴보면 전체 공급량 가운데 경유가 차지하는 양 가운데 약 82 %를 차지하고 있으며, 면세액은 총 10,850억 원이며 경유 면세액은 9,658억 원에 이른다 (MAFRA, 2014a).

* Department of Bioresource and Rural Systems Engineering, Hankyong National University
† **Corresponding author**
Tel.: +82-31-670-5134 Fax: +82-31-670-5139
E-mail: bb9@hknu.ac.kr
Received: September 22, 2015
Revised: October 2, 2015
Accepted: October 8, 2015

시설난방에 있어서 에너지 절감기술 개발 뿐만 아니라 대체에너지원의 개발을 필요성이 꾸준히 강조되고 있다. 온실에서 효과적인 신재생에너지의 이용확대는 농가 경영여건의 개선 뿐만 아니라 온실가스 배출량의 감축 및 저탄소 농산물의 생산이라는 효과를 기대할 수 있다. 여러 가지 신재생에너지원 가운데 농촌지역에서는 바이오매스 자원의 활용 가능성이 높다. 간벌목과 같이 산지에서 발생되어 고려할 수 있는 미활용 목질계 바이오매스는 논외로 하더라도, 농업 활동에 따른 다양한 농업부산물 바이오매스와 축산 분뇨 등의 유기성 폐기물의 활용을 고려할 수 있다. 고추나 깨와 같은 밭작물을 수확하고 남는 부산물 뿐만 아니라 과수원의 전지목 발생량은 단위 면적당 열량 기준으로 1,500 kcal/m^2에서 최고 8,000 kcal/m^2에 이르는 것으로 조사된 바 있다 (Hong, 2004). 농업부산물이나 목질계 바이오매스는 열화학적 변환 공정의 하나인 가스화를 통해서 쉽게 연료용 가스로 전환이 가능하고, 이렇게 생산된 연료용 합성가스는 단위체적당 열량이 5 MJ/Nm^3 수준으로 LPG나 천연가스에 비해 매우 낮으나 (Hong and Shim, 2008), 상용화 엔진이나 버너에 적용이 가능하다.

농업부산물 바이오매스의 활용을 제고하기 위하여 부존량 조사와 활용을 위한 추진 전략에 대한 연구 등이 최근에 이르러 지속적으로 진행되고 있다. Kim (2014)은 국내 바이오에너지 수요증가를 해결하기 위하여 미활용 바이오매스의 적극적인 활용이 중요함을 강조하고 농업부산물의 잠재적 이용가치가 높음을 인식하며 확대 이용방안에 대해 검토한 바 있다. 여기에서는 미활용 농업부산물의 활용 제고를 위하여 필요한 수거 및 유통 방안으로서 영농폐기물수거처리사업과 임지 잔재자원화 시범사업을 검토하였으며 수거모델 및 자원화 모델을 제시하였다. 그러나 농업부산물의 활용과 관련된 기술에 있어서 펠렛공정을 고려하여 농업부산물이 갖는 물리적 특성과 현재 적용 가능한 기술을 충분히 고려하지 못하고 있다. Park (2013)은 농작물별 수확량 대비 부산물 발생량에 대해 조사하고 연간 농업부산물 바이오매스 발생량이 약 97만여 톤, 축산분뇨 33.7백만톤, 음식물 쓰레기 11만여 톤임을 추정하고 있으나, 이들을 기술·경제적으로 활용할 수 있는 구체적인 방안은 제시하지 못하고 있다.

농업부산물 바이오매스의 활용 잠재력은 높으나 난방이 요구되는 시설 재배지의 면적을 고려하면, 농촌지역에서 획득이 가능한 바이오매스 가용량을 고려하면 시설 농가에서 요구하는 난방용 에너지를 전량 대체하기에는 크게 부족하다. 고추와 들깨, 주요 과수원을 중심으로 부산물 바이오매스에 의한 연간 에너지 생산량은 원유 환산톤 (TOE-Tons of Oil Equivalent, 10^7 kcal)으로 약 60만 TOE 수준에 지나지 않는다 (Hong, 2004; Kim, 2014). 그럼에도 불구하고, 농업부산물은 적절히 수집·운반되어 시설농가에서 효과적으로 연료로 이용한다면 난방유 소비량의 절감을 통해 경영여건을 개선할 수 있으며, 국가 차원에서는 온실가스의 감축과 친환경 에너지의 보급확대 효과를 기대할 수 있다.

현재 적지 않은 양의 밭작물 부산물은 농지에서 소각되고 있고 과수원 전지목은 일부 땔감으로 이용되기도 하지만 대부분은 과수원 주변에 방치되고 있는 실정이다. 농촌지역에서 가용한 농업부산물 바이오매스를 적극적으로 에너지원으로서 활용하기 위해서는 현재 도입이 가능한 에너지화 설비가 설치되어야하고, 효율적인 수집과 운반을 통해 바이오매스 자원이 안정적으로 공급되어야 한다. 바이오매스를 이용한 바이오에탄올 생산이나 열분해유 생산과 같은 기술은 기술·경제적으로 아직까지 도입이 어려우므로, 현재 농업부산물 바이오매스를 활용할 수 있는 기술은 소각과 가스화이다. 따라서 이들 설비를 도입하여 농촌지역 바이오매스 에너지를 본격적으로 활용하기 위해서는 안정적인 기술과 바이오매스 자원을 확보하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 시설재배지에서의 연료비 절감 및 온실가스 배출량 감축 방안으로서, 바이오매스 자원의 수집과 활용 방향을 기술·경제적으로 고찰하고 적정방안을 제시하고자 하였다. 향후 농촌지역 바이오매스를 이용한 에너지 생산과 이용, 그리고 기존 시설재배지의 난방설비를 연계하여 운영할 수 있는 현실적이고 실용적인 보급방안을 수립하는데 이용할 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 시설난방 수요와 농업부산물 바이오매스 부존량

자원 이용을 위한 계획 수립 시에 자원 부존량에 대한 검토가 선행되어야 한다. 농촌지역 다양한 에너지 수요 가운데 본 연구에서는 난방이 이루어지는 시설재배지를 농업부산물 바이오매스 수요처로 설정하였다. 전국과 경기도 안성시를 대상으로 연간 난방용 에너지 소비량을 만족하는데 요구되는 바이오매스 자원 요구량을 추정하였으며, 작물 재배와 관련된 2014년 및 2015년 통계자료와 문헌을 통해서 농업 바이오매스 가용량을 산정하였다. 연구대상 농촌지역으로서 과거 농업부산물 부존량에 대한 실측자료가 있는 안성시를 선정하였다.

2. 농업부산물 바이오매스 활용 에너지 생산 기술

가. 도입가능 기술의 검토

바이오매스로부터 에너지를 생산하는 기술에는 바이오에탄올이나 바이오디젤과 같은 연료 생산공정, 주로 건조된 바

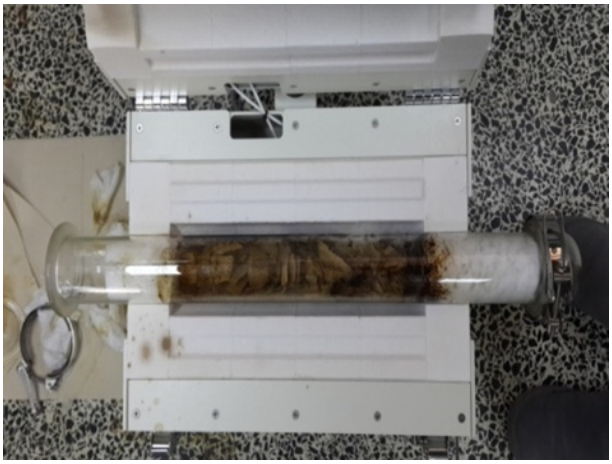


Photo 1 Syngas production using tube furnace

이오매스를 이용하는 열화학적 공정, 그리고 분뇨나 유기성 폐기물을 대상으로 바이오가스를 생산하는 생물화학적 공정이 있다. 이 가운데 농업부산물 바이오매스를 효과적으로 활용할 수 있는 기술은 열화학공정이다. 본 연구에서는 열화학공정 가운데 연소와 가스화를 현실적으로 도입 가능한 기술로 판단하고, 시설 재배지에서의 활용성 및 기술·경제적 타당성을 검토하였다.

나. 농업부산물 바이오매스를 이용한 합성가스 생산

농업부산물 바이오매스가 갖는 발열량은 쉽게 측정이 가능하나, 가스화 기술을 적용하는 경우를 비교하는데 필요한 합성가스의 조성과 가스화 반응특성을 알기 위하여, 본 연구에서는 튜브 퍼니스(Photo 1)를 이용하여 들깨 줄기, 고춧대, 콩줄기 등의 다양한 농업 부산물을 대상으로 900 °C 조건하에서 발생되는 가스를 분석하여 그 조성과 발열량을 산정하였다. 가스 조성은 복합가스 분석기 (센서로닉, 한국)를 이용하였다.

3. 농업부산물 바이오매스 구입을 위한 가격의 추정

농업부산물 바이오매스를 활용하기 위해서는 농지 등으로부터 조달되어야 한다. 이를 위해서는 수집이나 운반과정에서의 비용이 수반되므로 이를 지불해야 한다. 그러나 이 비용은 바이오매스가 갖는 열량을 기준으로 타 연료와 비교해서 비슷하거나 상대적으로 낮아야 한다. 또한 가스화와 같이 바이오매스로부터 가연성 연료로 변환하는 경우에는 연료를 생산하는 부수적인 과정이 요구되므로, 이 과정에서의 시설 투자비용을 이자율과 내구년수를 고려하여 추정하였으며, 가스화 시설의 초기 투자비를 회수하기 위한 비용을 반영하여 농업부산물 바이오매스의 구입 시 원가로 반영하였다.

4. 수집 및 공급체계

농업부산물 바이오매스는 아직까지 거의 활용되지 않고 있는 자원이므로 시장이 형성되어 있지 않고, 이들을 활용하기 위해서는 수집과 운반을 위한 체계가 제시되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 정책 및 제도적인 장치, 수요 및 공급자의 연결 체계, 그리고 바이오매스의 저장이나 운송을 위한 중간 집하장 등 바이오매스 활용 인프라 등에 대해 검토하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 시설난방을 위한 바이오매스 소요량 및 부존량의 추정

가. 시설난방 에너지 소비량

1) 국내

시설원예 재배지 면적은 2013년 현재 51,058 ha로 조사된 바 있다 (MAFRA, 2014a). 농촌진흥청에 의하면 기준 시설재배지 전체 면적 가운데 약 24 %가 난방을 하며, 이러한 비율은 지속적으로 증가해 온 것으로 보고 있다 (RDA, 2008). Lee (2014)에 의하면 1990년 대비 2011년에는 시설면적이 약 2배 증가하였는데 반해, 가온 면적은 약 6배 증가하여 시설난방에 의한 재배지 면적의 비율이 보다 크게 증가하고 있으며. 농업용 난방기의 65 %는 농업용 면세유를 이용하여 연간 약 125만 kL의 유류가 난방에 이용되고 있다. 온실난방을 위하여 소요되는 에너지는 재배 작물이나, 단열조건에 따라서 크게 영향을 받지만, 연간 유류 소비량을 유류를 이용하는 온실면적으로 나누어 단위면적당 유류 소비량은 약 87 kL/ha 로 계산된다. 시설난방에는 대부분 경유가 이용되어 왔으므로 경유의 발열량을 이용하면 단위 면적당 에너지 소비량은 약 78 TOE/ha로 환산된다. 수원지역을 대상으로 PE 이중커튼이 있는 비닐하우스에서 실내 설정온도를 9 °C로 할 때 연간 소요 열량은 약 74 TOE/ha로 계산되므로 그 차이는 크지 않다.

농업부산물의 함수비는 종류에 따라서 11~35 %의 범위를 가지며, 고위발열량은 2,700~4,100 kcal/kg이다 (Hong, 2004). 시설난방에 소요되는 단위 면적당 에너지를 바이오매스로 대체하기 위하여 3,500 kcal/kg로 취하여 계산하면 약 223 t/ha의 양이 요구된다. 시설재배지 면적이 많은 주요 도별 난방용 에너지 소비량을 추정한 결과는 Table 1에 제시하였다. 경기도는 6,511 ha의 시설로 나타나 난방을 하는 시설의 비율 30 %를 취하고, 이 가운데 유류 사용시설이 94 %이므로 에너지 소비량은 약 14.3만 TOE이다. 이 양을 바이오매스로 공급하기 위해서는 약 41만 톤이 확보되어야 함을 알 수 있다. 전국의 시설재배지에서 요구되는 난방에너지는 112.6만 TOE로서 바이오매스로 대체하는 경우 약 320만여 톤이 요구된다.

Table 1 Heating energy requirements from greenhouses by major provinces

Provinces	Area (ha)	% of National Total area	Energy Requirement (TOE)[1)]	Biomass Requirement (t)[2)]
Gyeonggi	6,511	13	143,620	410,343
Gangwon	2,834	6	62,512	178,607
Chungbuk	2,331	5	51,417	146,907
Chungnam	7,226	14	159,391	455,404
Chonbuk	5,275	10	116,356	332,446
Chonnam	4,621	9	101,930	291,229
Gyeongbuk	9,289	18	204,897	585,420
Gyeongnam	9,439	18	208,206	594,874
National Total	51,058	100	1,126,239	3,217,827

[1)]Assumed that 28.2 % of greenhouse facilities utilizes diesel fuel for heating of 78 TOE/ha
[2)]Assumed that heating value of biomass is 3,500 kcal/kg

2) 안성시

2010년 현재 경기도 안성시에서 버섯재배지를 제외한 시설재배지 면적은 총 223 ha이다 (KOSIS, 2015). 오이가 가장 많이 재배되고 있으며, 배추, 시금치, 상추 등이 그 뒤를 잇고 있다. 전국에 대한 시설재배지 난방 비율 28.2 %와 단위면적당 연료 소비량 78 TOE/ha를 이용하면, 안성시에서 시설난방에 필요한 에너지는 총 4,920 TOE로서, 바이오매스로 대체하면 약 1.4만 톤이 소요되는 것으로 계산된다. 해당 지역에서 활용 가능한 농업 부산물 바이오매스 부존량이 부족한 경우에는 원거리에서 운송하는 등의 공급 계획이 수립될 필요가 있다. 또한 사업의 효과를 높이기 위하여 시설 규모가 크고 바이오매스 자원의 수집과 운송에 있어서 유리한 농가를 선별하여 적용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 안성시 오이재배 시설농가 규모를 살펴보면 1~2 ha 규모의 농가가 8곳, 2 ha 이상으로 규모가 큰 농가 또한 2곳이 있다 (Table 2). 이와 같이 규모가 큰 시설들은 우선적으로 검토하고, 이 가운데 인접 지역에서 농업부산물 바이오매스의 수집과 운송 여건이 양호한 농가를 선정하여 보급하는 것이 바람직하다.

농업부산물 바이오매스를 통해 공급할 수 있는 에너지 부존량은 시설 난방에 소요되는 에너지 대비 부족하므로, 우드칩이나 펠렛 등의 목질계 바이오매스를 함께 이용하는 방식의 계획이 요구된다. 더 나아가 바이오매스 연료만으로는 시설 난방에 요구되는 에너지를 충족하지 못하는 경우도 있으므로, 기존의 유류 난방 설비와 병용하는 것도 배제할 필요는 없다.

Table 2 Number of farms and cultivation area of greenhouses in Anseong-City

Crop types	No. of farms	Area (ha)
Chinese cabbage	36	23
Radish	9	1
Pepper	44	4
Spinach	15	17
Lettuce	29	18
Zucchini	17	5
Cucumber	156	75
Water meolon	2	1
Tomato	18	6
Strawberry	1	0
Yellow mellon	1	0
Misc. vegetables	9	16
Flower	30	11
Others	61	46
Total	428	223

(KOSIS, 2015)

Table 3 Crop residue production ratios

Crop	Production coefficients (t/t)	Energy Contents* (GJ/t)
Cereals[1)]	1.3	12
Vegetables and melons[1)]	1.0	6
Roots and tubers[1)]	0.4	6
Rice straw[1)]	1.02	16.3
Apple[2)]	1.316	18.5
Grape[2)]	1.562	17.4
Bean[3)]	1.7	19.0**

*Higher heating values at air dried condition
**Ontario MAFRA
[1)]Rosillo-Calle et al., 2007
[2)]Kim 2014
[3)]Jiang et al., 2012

나. 농업부산물 바이오매스 부존량

일정 지역에서 발생하는 바이오매스 부존량은 토지이용 조건에 따라서 추정이 가능하다. 농업부산물은 수확물 대비 부산물 발생량의 비로서 추정이 가능한데, 작물별 단위면적당 부산물 바이오매스 발생량 측정치가 있는 경우 보다 편리하게 계산할 수 있다. Table 3은 수확물 대비 부산물의 비율과 건조된 바이오매스의 고위발열량의 값을 보여주고 있다. 바이오매스 부존량을 추정하는 다른 방법은 Hong (2004)이 제시한 바와 같이 단위면적당 바이오매스 발생량을 조사한 결

Table 4 Biomass and energy production in different crop fields (Hong, 2004)

Crop/Orchards	Biomass production (kg/m^2)	Moisture contents (%)
Pear	0.21 ~ 1.34	54.5
Grape	0.34 ~ 5.10	37.3
Apple	0.05 ~ 0.59	48.1
Peach	0.09 ~ 0.96	41.4
Pepper	0.2 ~ 0.5	15.5
Sesame	0.1 ~ 1.0	16.7

과를 근거로 추정하는 것이다 (Table 4). 실측치를 근거로 한다는 면에서 보다 신뢰성을 가질 수 있으나 재배 작물의 품종에 따라서 다소 상이할 수 있으며, 특히 과수 전지목의 경우 수령에 따라 전지작업에 의해 발생되는 부산물의 양은 크게 다른 경우가 있어 이를 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 기존의 농업부산물 바이오매스 발생량 자료를 이용하고, 경기도 안성시를 대상으로 주요 작물별 재배면적을 이용하여 바이오매스 부존량을 추정하였다.

1) 국내

기존 연구결과와 문헌에서 취급되지 않았으나 재배면적이 비교적 큰 콩과 들깨 부산물을 추가로 포함하여 Table 3과 4의 자료와 통계자료를 이용하여 국내 농업부산물 바이오매스 부존량을 에너지로 산정하였다 (Table 5). 주요 작물 부산물 부존량은 54.6만톤으로서 발열량으로 환산하면 20.7만 TOE이다. 난방을 하는 전국의 시설농가의 에너지 소비량의 약 48%에 해당하는 양이다. Table 5에서 보는 바와 같이 총 8개 작물에 대한 부산물을 대상으로 하였으니, 농촌지역에서 가용한 이외의 작물 부산물이나 야생 초본 바이오매스 등을 수집 과정에서 포함한다면 보다 많은 양의 에너지 공급이 가능할 것이다.

바이오매스 부존량은 Noh (2010)에서 언급한 바와 같이 부존량, 가용 잠재량, 기술적 잠재량으로 구분하여 평가하는 것이 바람직하다. 부존량은 바이오매스 연간 생산 또는 발생량을 말하며, 가용 잠재량은 부존량에서 이미 다른 용도로 이용되고 있는 양을 제외한 값을 의미한다. 마지막으로 기술적 잠재량은 가용 잠재량 가운데 현재의 수집, 변환 등의 기술경제적 수준에서 활용이 가능한 양을 말한다. 한국축산경제연구원에서는 농업 부산물 바이오매스의 부존량은 2007년 현재 연간 233만 TOE로 추정한 바 있다. 농업 부산물 바이오매스의 가용 잠재량은 가장 많은 양을 차지하고 있는 볏짚이 사료용으로 이용되고 있으므로 이를 제외하면 연간 약 57만

Table 5 Estimation of available energy from agricultural residue biomass in Korea

Crops	Area (ha)	Biomass production rate (kg/m^2)	Biomass amount (t)	Total Energy (TOE)
Apple	31,620*	0.100	31,620	9,274
Pear	12,664*	0.213	26,974	7,288
Grape	12,690*	0.337	42,765	13,582
Peach	16,704*	0.105	17,539	6,312
Sesame	23,184**	0.108	25,039	9,908
Beans	80,031**	0.327	261,701	103,555
Pepper	50,211**	0.215	107,954	44,142
Perilla	30,130**	0.108	32,540	12,876
Total	257,234		546,133	206,939

*KOSIS (2015)
**MAFRA (2014)

Table 6 Major agricultural biomass residue and available energy in Anseong-City

Crops	Area (ha)	Biomass production rate (kg/m^2)	Biomass amount (t)	Total Energy (TOE)
Apple	11	0.051	11	3
Pear	1193	0.213	2,541	687
Grape	543	0.337	1,830	581
Peach	78	0.085	82	29
Sesame	61	0.088	66	26
Beans	500	0.327	1,635	647
Pepper	193	0.215	415	170
Total	2,579		6,580	2,143

TOE 수준으로 추정하였는데, Table 5에서 산정한 결과에 비해 보다 더 큰 이유는 고구마 줄기 등 다양한 농업부산물 바이오매스를 추가로 포함하였기 때문이다.

2) 안성시

2014년 통계연보의 작물별 재배면적을 기준으로, Hong (2004)의 단위면적당 부산물 발생량 자료를 이용하여 경기도 안성시 관내 농업부산물 바이오매스 부존량은 Table 6과 같이 6.5천여 톤 수준으로 나타났다. Table 6의 부존량은 Hong (2004)이 제시한 작물별 부산물의 단위면적 당 발생량 범위에서 보수적인 값을 취하여 산정한 결과이다. 안성시 농업부산물 바이오매스 발생량은 현재 거의 활용되지 못하고 있는 에너지원이다. 주로 봄철에 많은 양의 부산물은 농지에서 소각되고 있는 것으로 관측되며, 전지목은 굵기가 작은 잔가지

Table 7 Biomass boiler unit cost for heating in England (Carbon Trust, 2011)

Porject description	School Building	Village	Buildings	College Building	Apartment
Biomass fuel	chip/pellet	woochip	woochip	pellet	woochip
Boiler only cost (£)	300,000	606,700	310,596	88,400	165,000
floor area (m^2)	1,500	34,200	7,200	1,566	11,352
Boiler capacity (kW)	500	2,000	1,200	300	500
cost/area (£/m^2)	200.00	17.74	43.14	56.45	14.53
cost/capacity (£/kW)	600.00	303.35	258.83	294.67	330.00
community heating	No	Yes	Yes	No	Yes
Auxillary heating	Gas	None	Gas	Gas	Gas

는 파쇄되어 토양에 환원되고, 굵은 가지의 일부만이 땔감으로 활용되며 나머지는 주변 울타리 등에 방치되고 있다. 농업부산물에 대한 판매를 통해 추가의 수익이 가능하다면, 이들 미활용 바이오매스의 상당량은 수집되어 에너지원으로 이용될 수 있을 것이다. 더 나아가 대기오염방지를 위한 농업부산물 소각 금지 등의 제도를 마련하고, 동시에 부산물 거래가 이루어질 수 있도록 한다면 가용 바이오매스 양은 더욱 증가할 것이다.

2. 농업부산물 바이오매스 활용을 위한 기술

가. 시설난방을 위한 연소와 가스화 기술의 비교

1) 연소

연소에 의한 바이오매스 활용은 이론공기량 이상의 적정 공기량을 공급하여 완전연소를 유도하여 열에너지를 이용하는 것이다. 이미 안정적이고 상용화된 연소설비가 보급되어 있으며 화력발전이나 폐기물 소각에 이용되고 있다. 가스화 기술과 비교할 때 연소공정에서는 배기가스 량이 훨씬 더 많고 완전연소를 위해 공급하는 실제 공기량이 기체연료에 비해서 더 많아 연소 온도가 낮은 단점을 가진다. 연소공정에서 배기가스 중에 오염물질이 포함되어 있는 경우에는 처리 비용이 크게 상승하는 점 또한 고려되어야 한다.

바이오매스 연소에 의한 발전 설비는 규모에 크게 영향을 받는데 10 MW 이하의 시설은 MW당 5백만 불, 규모가 더 큰 경우에는 MW당 1.5백만 불의 설비비용이 소요된다 (World Energy Council, 2013). 발전 비용은 $125/MWh 수준이다. 국제재생에너지기구 (International Renewable Energy Agency)에서는 화격자 연소식 보일러의 시설비는 $1,880~4,260/kW이며 유동층 소각로 방식의 보일러 $2,170~4,500/kW로 제시하고 있다 (IRENA, 2012). 기술 수준이나 국가별 시설비용은 크게 차이가 나는데, 열병합 시설로 가동하게 되면 보다 증가하게 된다. 국내에서는 Suh and Kim (2012)이 우드칩 열병합 발전설비에 대한 경제성 검토에서 3 MW 발전 규모의 시설비용이 25.3억 원으로서 경제성을 확보하기 위해서는 톤당 우드칩 가격을 64,000 원 이하로 제시하고 있다.

캐나다에서는 800 m^2 면적의 건물에 150 kW 바이오매스 연소설비를 이용하는 경우 설비비가 약 $80,000로서 유류를 이용하는 설비 대비 초기 투자비가 많이 소요되나 충분한 경제성을 갖는 것으로 보고된 바 있다 (RETSCREEN, 2004). 영국의 Carbon Trust사의 사업실적을 대상으로 바이오매스 보일러의 비용은 최저 258 £/kW 에서 최고 600 £/kW 범위를 가진다 (Table 7). 바이오매스 연료의 종류에 크게 다르지 않는 것으로 보이며, 난방 면적당 보일러 시설비용은 난방 조건이나 열이용 조건에 따라 차이가 있다.

한편 연소기술을 이용하는 바이오매스 보일러 난방시스템을 도입하는 경우 설비비를 요소별로 세분하여 살펴보면 보일러 자체의 비용은 50 % 미만에 지나지 않는다 (Carbon Trust, 2011). 연료의 저장과 공급등을 위한 보일러 건물과 바이오매스 저장설비를 위한 비용이 전체 설비 비용의 약 40 %를 차지한다. 바이오매스 보일러를 도입하는 경우 추가로 고려해야 할 사항은 보일러 시설에서 열수요처까지의 배관 및 이 과정에서의 열손실이다. 보일러 시설로부터 거리가 멀수록 비용이 증가하며 열손실량은 커진다.

2) 가스화

농업부산물 바이오매스 가스화하여 연료용 합성가스를 생산하는 경우 연소에 의한 방법과 마찬가지로 난방에 이용하거나 엔진발전기를 구동하여 열과 전기를 동시에 생산·이용할 수 있다. 합성가스를 연소하여 난방하는 경우 기존의 보일러나 열풍기를 부분적으로 개조하여 이용할 수 있으나, 발전과 동시에 열을 이용하는 경우 엔진발전기와 배열 회수설비를 추가로 구입해야 하므로 추가의 비용이 발생하게 된다. 현재 바이오매스를 이용하여 생산되는 전기에 대해서는 "소규모 신재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침"에 의하여 판매가 가능하므로 전력판매에 의한 추가 수익은 기대할 수

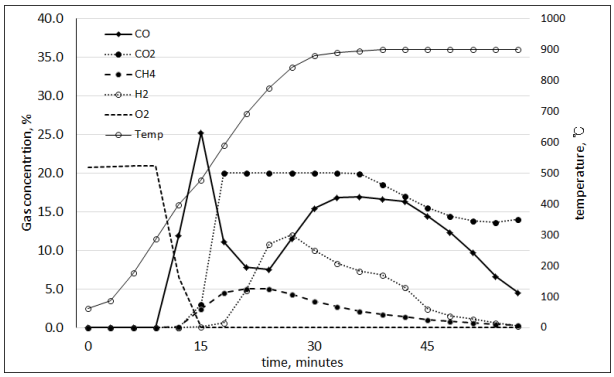
있다. 그러나 World Energy Council (2013)에 의하면 바이오매스 가스화를 연계하여 발전하는 경우 전력 생산단가가 약 $150/MWh로서 연소에 의한 방식에 비해 약간 높다. 국제재생에너지기구는 바이오매스 가스화-발전 설비의 투자액은 $2,140~5,700/kW이며, 평균 전력생산 단가는 $0.07~0.24/kWh로 보고 있다 (IRENA, 2012).

한편 열공급 만을 위한 바이오매스 가스화 기술의 적용 사례는 거의 없고 모두 발전이나 열병합을 위한 것으로서 바이오매스 보일러와 직접적인 비교는 곤란하였다. 그러나 바이오매스 가스화를 이용한 발전의 경우 가스 정제와 발전설비를 위한 설비 투자비용의 비중이 더 높은 것을 감안하면, 연소기술에 의한 바이오매스 보일러와 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

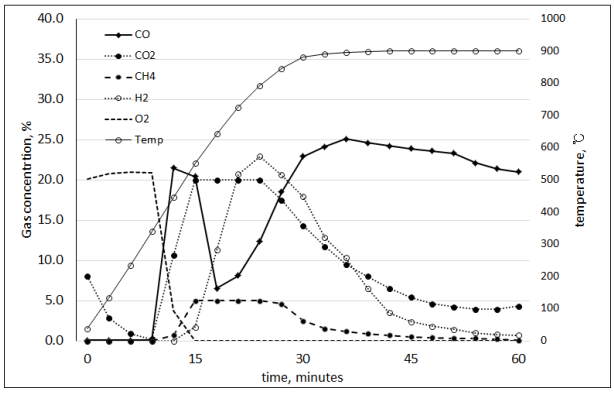
가스화기의 종류는 유동층과 고정층으로 구분할 수 있으며 고정층에는 상향식과 하향식이 대표적이다. 이 가운데 상향식 가스화기는 함수비나 연료 입자의 크기 등 연료조건이 하향식에 비해서 까다롭지 않으므로 다양한 농업부산물 바이오매스를 활용할 수 있는 장점이 있다. 상향식 가스화기를 이용하면 비록 합성가스 중에 타르 함량이 높아 엔진에 공급하기 위해서는 가스 정제를 위한 노력이 많이 요구되나, 버너에서 연소하여 열을 이용하는 경우 정제에 대한 부담은 줄어든다. 따라서 가스화 공정을 이용하면 생산된 연료용 가스를 개별 시설로 공급하고 개별 시설에서 기존의 설비를 활용하여 연료 가스를 사용하는 것이 가능하다. 바이오매스 보일러를 이용한 난방 시스템에서 우려되는 열손실에 대한 문제가 없다는 장점이 있으며, 난방 대상 시설이 산재해 있는 경우 바이오매스 보일러에 비해 더 유리하다.

나. 농업부산물 바이오매스 합성가스

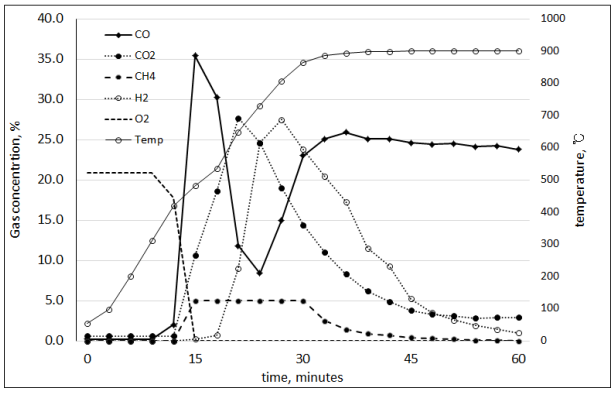
튜브 퍼니스를 이용하여 농업부산물의 종류별 합성가스 조성을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 공기 주입 유량은 12 LPM, 분당 30 °C의 승온 조건에서 농업부산물의 종류와 관계 없이 성분별 농도의 시간에 따른 변화는 대체로 유사한 경향을 보였으며, 15분 경과 후 CO의 농도가 최대를 나타내었다. H_2의 농도는 그 이후에 최대를 나타내었고, 약 45분 경과 후에는 CO와 CO_2가 주로 발생되었다. CO의 농도가 최고를 나타낸 이후 감소하고, 이후에 다시 증가하는 공통적인 경향을 보이며, 그 이후 H_2의 농도 증가하여 최대치를 보인다. H_2가 생성되는데 필요한 에너지가 소요되어 CO로의 환원속도가 감소하였기 때문으로 판단된다. H_2 농도가 최고치에서 점차 감소하는 시점에서 CO의 농도는 다시 증가하기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 부산물 가운데 고춧대에서 생성되는 합성가스의 조성이 연료로서 가장 우수하였다. CO의 농도와 H_2의 농도가 가장 높았으며, 최대치 또한 36 %, 27 %로 각각 나타났다. 최대치 이후에도 상대적으로 높은 가연성분 농도를 보이고 있음을 알 수 있다.



a) Perilla stalk



b) Bean stalk



c) Pepper stalk

Fig. 1 Gas composition change over the time for different agricultural residues in tube furnace.

CO와 H_2의 농도 및 발열량을 이용하여 합성가스의 발열량을 계산하면 부산물의 종류별로 크게 다르지 않게 약 4~6 MJ/Nm^3의 범위를 가지는 것으로 나타났다. 이 값은 일반적

으로 외부의 열원 없이 구동하는 가스화기로부터 생산되는 합성가스의 열량과 비슷한 범위의 값으로서, 버너 연소를 위한 연료 뿐만 아니라 안정적인 가스정제과정을 거치면 내연기관의 연료로서도 이용할 수 있다 (Hong, 2011).

3. 농업부산물 바이오매스의 적정 가격

가. 가정 및 추정 조건

바이오매스의 가치는 기존의 연료의 단위 열량당 가격을 고려하여 다른 연료와 비교할 수 있다. 바이오매스를 연료로 활용하는 경우, 구입 가격은 열량 기준으로 기존의 연료에 비해 상대적으로 저렴해야 한다. 취급이 불편하고 에너지 전환에 소요되는 추가의 설비나 비용 등이 수반되기 때문이다. 가스화 기술을 도입하여 연료가스를 생산하고 활용하는데 따르는 추가 비용을 바이오매스의 단위 열량당 가격에 반영해야 한다. 합성가스 생산비 산정을 위해서는 가스화기와 가스 활용을 위한 설비비에 대한 정보가 요구되는데 아직까지는 상용화되지 않아 국내의 가격정보가 없으므로 기존 연구를 위해 이용되었던 설비의 제작비용을 기준으로 도입 단가를 결정하였다. 바이오매스 활용을 위한 비용을 산정하기 위하여, 이들 설비의 내구년수는 보수적으로 5년으로 설정하였으며, 이자율은 2 %로 설정하였다. 열풍기나 보일러 적용을 위한 버너는 기존 상용버너를 이용할 수 있으며, 그 가격은 가스화기나 엔진발전기에 비해 무시할 정도로 적으므로 별도의 설비 비용에 포함하지 않았다. 기술·경제성 검토를 기본 조건과 가정은 Table 8과 같다. 가스 정제과정을 거친 후 냉각된 가스의 열량을 기준으로 가스화 효율은 최고 70 % 수준으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 보다 보수적으로 60 %로 가정하였다.

경유나 등유와는 달리, 바이오매스 연료의 실질 가격은 연료 자체 구입 가격 뿐만 아니라 바이오매스 활용 시설에 대한 시설투자액의 회수액이 추가되어야 하므로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

Table 8 Specification and conditions for equipment for syngas production

Investment Conditions	Capacity or conditions
Gasification facilities	60 kg/h[1)]
Facility investment	20 million KRW
Project years, n	5 years
Interest rate, i	2 %
Maintenance costs, C_a	10 % of facility investment
Yearly operation rate	25 %
Biomass heating values, H_b	3500 kcal/kg[2)]
Gasification efficiency, η	60 %

[1)]Approximately 210,000 kcal/h
[2)]15 % of moisture condition dry basis

$$B_f = B_p + F_r \tag{1}$$

여기에서 B_f는 바이오매스 실질 구매 가격 (원/kg), B_p 는 바이오매스 시장 구매 가격 또는 시설 내로의 반입 가격 (원/kg), 그리고 F_r는 시설에 대한 투자금액에 대한 연간 회수금액을 바이오매스 총 소비량으로 나눈 것으로서 바이오매스 단위중량당 시설투자 회수액 (원/kg)이다. F_r은 물가 상승률을 고려하지 않고 이자율 i, 바이오매스 활용 시설의 내구년수 n, 시설의 최초 총 투자액을 P라고 할 때, 자본회수계수를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$F_r = \frac{P\dfrac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}}{M_b} \tag{2}$$

여기에서 M_b는 연간 바이오매스 총 소비량 (kg)이다. 바이오매스 활용시설에 대한 투자비용을 회수하는데 반영되는 가격은 바이오매스 사용량 혹은, 시설 가동률에 반비례함을 알 수 있다. 즉, 바이오매스 연료의 실질 구매 비용은 연간 사용량을 증가시킴에 따라서 감소함을 알 수 있다. 추가로 시설을 운영하기 위해서는 관련 인력과 유지관리에 따른 비용이 소요되는데 이를 C_a라고 하고 이를 반영하면,

$$F_r = \frac{P\dfrac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + C_a}{M_b} \tag{3}$$

바이오매스 중량당 가격을 이용해서는 기존 연료와의 경쟁력을 비교하기 어려우므로, 단위 열량당 가격으로 환산하여 비교할 수 있다. 바이오매스 연료를 가스화 설비에서 기체연료를 생산하게 되면, 에너지 전환효율에 따라서 활용 가능한 열량은 다소 줄어들게 된다. 이를 반영하기 위하여 바이오매스의 에너지 전환효율을 η라고 하면, 바이오매스 단위 중량당 열량을 H_b라고 하면, 바이오매스 연료 단위 열량당 가격 C_b는

$$C_b = \frac{B_f}{\eta H_b} \tag{4}$$

나. 농업부산물 바이오매스의 적정 가격

연간 가동률 25 % 조건에서 바이오매스 연료 사용량은 약

131 톤으로 계산된다. Table 8의 조건과 가정으로 연간 회수되어야 할 비용은 약 624만 원으로서, 이를 단위 중량당 비용으로 계산하면 47.5원/kg, 그리고 단위 열량 당 가격으로 환산하면 0.0226원/kcal이다. 2015년 6월 기준 등유의 단위 열량 당 가격은 0.09원/kcal이다. 등유를 대체하기 위하여 바이오매스 연료를 구입한다면 이 차액이 적정하다고 판단된다. 등유의 정유사 판매가격은 약 19 %의 세금이 포함되므로 (Petronet, 2015), 이를 반영하여 단위 중량 당 가격으로 계산하면 103.69원/kg이다. 즉, 바이오매스 가스화 시설을 이용하고 등유를 대체하는 것을 전제로 할 때, 바이오매스 연료 구매할 수 있는 최고 가격은 톤당 약 10만 원 수준으로 볼 수 있다. 바이오매스 가스화 시설 투자에 대한 연간 회수비용은 연간 가동률을 높이거나, 제도적으로 이러한 시설에 대한 보조나 융자를 통해 회수비용을 줄일 수 있으면 더 높은 가격에도 구입하여 활용이 가능하다.

4. 농촌지역 바이오매스 에너지 보급 활성화 방안

가. 정책 및 제도

농촌지역에서 바이오매스를 이용한 에너지 생산과 이용을 확대하기 위해서는 이를 위한 정책과 제도가 마련되어 시행되어야 한다. 관련 정책 및 제도로서는 첫째 농업부산물의 소각 금지, 둘째 농업부산물의 거래를 유도하기 위한 적정가격의 설정과 거래시스템의 구축, 셋째 바이오매스 활용 설비를 도입하는 시설농가를 대상으로 세제혜택이나 지원 등을 고려할 수 있다. 현재 적지 않은 양의 농업부산물이 농지에서 소각되고 있으므로 이들을 활용하기 위한 목적 뿐만 아니라 대기오염방지나 화재예방을 위한 조치로서도 금지해야 한다. 바이오매스 에너지 보급과 활용을 제고하는데 가장 효과적인 방법은 고형연료로서 가치를 사회적으로 인식하고 바이오매스 자원이 거래될 수 있도록 하는 것이다. 물론 바이오매스를 이용하는 농가나 시설에서는 바이오매스 확보에 소요되는 비용이 최소화하는 것을 지향하겠지만, 농업부산물을 포함한 농촌지역에 산재한 바이오매스 자원을 수집하는 데 소요되는 노력이나 비용을 보상해야 한다. 보다 면밀한 경제성 분석을 통해 최소 가격을 도출하고, 이를 반영하여 시장을 형성한다면 지금까지 소각되거나 방치되었던 다양한 바이오매스 자원이 수집되어 에너지로 활용될 것이다. 바이오매스에 대한 최저 가격의 설정은 자원의 수집을 유도하기 위하여 공급자를 위한 것인데, 바이오매스 소비자로서 시설농가나 활용시설 운영자를 위해서는 관련 시설 투자에 대한 지원 또한 필요하다. 바이오매스 실질 적정 가격을 산정할 때 관련 시설투자에 대한 회수비용이 반영되었다. 만일 정부의 세제지원이나 보조가 이루어지는 경우 바이오매스 에너지화를 위한 시설이 보다 활발히 도입되고, 다소 높은 가격으로 바이오매스의 구입도 가능하게 된다.

신재생에너지 보급 촉진을 위해 시행되었던 발전차액지원 제도와 2012년부터 시행되기 시작한 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도는 모두 발전사업에만 국한된다. 최근 논의가 되고 있는 신재생열에너지 의무화제도 (RHO, Renewable Heat Obligation)는 열에너지를 신재생에너지를 통해 보급하기 위한 제도이다. RHO가 시행된다면 바이오매스를 이용한 시설난방의 보급여건은 크게 개선될 것이며, 농가의 경영여건 개선 또한 기대할 수 있다.

나. 바이오매스 유통을 위한 인프라

기존의 연료와는 달리 바이오매스는 체적밀도가 매우 낮아 저장이나 운송에 매우 불리하다. 이러한 특성으로 인해 바이오매스를 이용하는 설비를 구축할 때에 연료의 저장과 전처리 등을 위한 시설 투자가 추가로 요구된다. 따라서 바이오매스를 이용한 에너지 시설을 갖출 때에는 적절한 유통 인프라를 구축하는 것이 대단히 중요하다. 바이오매스 유통 인프라는 직거래를 유도할 수 있는 시스템과 소량의 바이오매스를 제공하는 다수의 농민으로부터 수집하여 저장하는 중간 집하장 등으로 구성되어야 한다.

직거래 시스템은 농촌지역에 산재해 있는 바이오매스의 소유자가 소비자에게 바이오매스 종류, 발생량, 위치 등을 제공하고, 이러한 정보를 통해 바이오매스 활용 시설을 운영하는 소비자가 수매 계약을 체결한 후 합의된 시기에 바이오매스를 수거할 수 있는 기반을 제공하여야 한다. 인터넷의 웹사이트를 이용하면 이러한 시스템은 쉽게 구축할 수 있을 것이다. 농업부산물 바이오매스의 거래를 통해 작물 재배 농가에서는 추가의 소득 얻을 수 있으며, 바이오매스 활용 시설에서는 대규모 저장 시설을 별도로 마련하지 않고 안정적으로 바이오매스를 확보하여 사용하게 될 것이다.

바이오매스의 직거래는 소비자가 직접 발생지를 방문하여 수거하는 형식을 기반으로 하게 되므로 수거에 소요되는 비용을 고려할 때 바이오매스 양이 비교적 많아야 한다. 따라서 작물 재배면적이 상대적으로 적은 경우 바이오매스 소비자가 구매를 꺼릴 가능성이 높고 활용되기 어렵다. 이런 경우에는 중간 저장을 위한 집하장이나 창고를 마련하여 바이오매스 거래를 유도할 필요가 있다.

직거래나 집하장을 이용하는 방식 모두에 있어서 인프라의 구성 요소로서 바이오매스의 품질을 등급화하여 차별화할 필요가 있다. 함수비와 토사 혼입정도는 연료로서의 가치에 크게 영향을 미치므로 이들을 측정하여 등급화하고 거래 가격에 반영하여야 한다. 함수비가 높은 바이오매스는 건조에

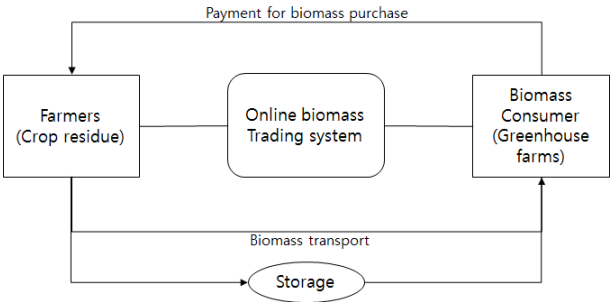


Fig. 2 Biomass purchase and transport by online trading system

추가 비용이 소요되며, 토사 등이 혼입되면 단위 중량당 발열량이 크게 감소하기 때문이다. 거래 가격에 영향을 미치게 되면 측정 결과에 대한 신뢰성이 매우 중요하므로 시료채취 방법과 분석 방법 등을 표준화할 필요가 있다. 농업부산물 바이오매스의 거래를 통한 공급체계는 Fig. 2에 나타냈다.

다. 수집 및 운송 체계

바이오매스는 특정 장소에서 대량으로 얻어지기 보다는 넓은 지역에 산재해 있는 특성을 가지므로, 활용시설까지 경제적이고 효율적으로 수집·운반할 수 있도록 계획되어야 한다. 상하차 비용을 고려할 때 소규모 트럭보다는 대형 트럭이 유리하며, 1회 운반 시 최대한 많은 양을 운반하는 것이 바람직하다. 따라서 바이오매스는 대형 트럭이 접근할 수 있는 곳이 유리하고, 그렇지 않은 경우 집하장이나 도로까지 반출되어야 한다. 개별 바이오매스 활용시설을 중심으로 소요량에 기초한 바이오매스 공급 지역을 설정하여 수집과 운송 체계가 갖추어져야 한다.

밭작물 부산물의 경우 특히 체적밀도가 매우 작아 현장에서 파쇄 등의 작업이 요구되므로, 수집 및 운송 체계에서 파쇄기와 같은 별도의 장비를 활용할 수 있어야 한다. 이들 장비의 효율적 운용이 바이오매스 실질 가격에 영향을 미치므로 장기적으로는 이들의 개발도 검토되어야 한다. 운송을 위한 트럭에 장착되어 현장에서 파쇄 및 상차까지의 작업을 동시에 할 수 있는 장비가 도입된다면 수집비용을 크게 낮출 수 있다.

라. 도입 여건을 고려한 시설농가의 선정과 운영

1) 시범사업의 시행

지금까지 시설농가에서 바이오매스를 에너지로 활용한 사례는 화목이나 펠렛을 이용한 보일러 등이 있다. 비교적 설비의 규모가 작고, 보급 활성화가 이루어지지 않고 있다. 따라서 농촌지역에서 바이오매스 연료를 조달하고 이를 이용하는 시설난방에 대한 운영 사례가 없으므로 일종의 시범사업 시행을 선행할 필요가 있다. 시범 사업을 통해 바이오매스 자원의 수급과 활용 전반에 걸쳐 현장에서 발생되는 문제점과 애로사항을 점검하고 향후의 보급 확대 시점에 반영해야 한다. 시범사업을 통해 얻어지는 데이터를 활용하여 바이오매스 자원의 적정 가격과 경제성을 검토하고 이상적인 바이오매스 활용 시설난방시스템을 구축해야 할 것이다.

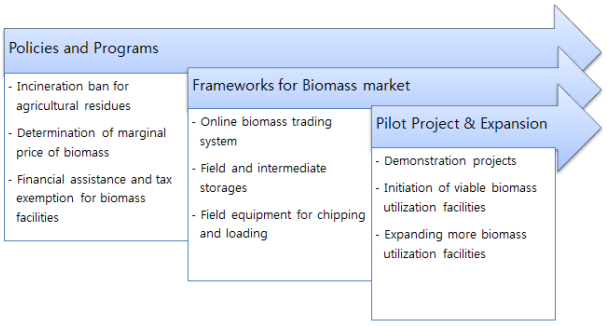


Fig. 3 Strategic steps for increasing biomass energy utilization in rural areas

2) 여건 우수 시설 선정 및 운영

국내 및 안성시 시설난방 에너지 요구량과 주요 농업부산물 바이오매스 부존량 자료에서 나타난 바와 같이, 시설작물 재배지에서 난방에 소요되는 에너지를 전량 농업부산물 바이오매스 만으로는 공급할 수 없다. 이를 충족시키기 위하여 우드칩과 같은 목질계 바이오매스를 혼용할 수도 있고, 기존의 유류를 이용한 난방설비를 동시에 운전하되 유류 소비량을 최소화하는 방법도 유효하다.

가용 바이오매스를 최대한 이용하기 위해서는, 바이오매스 연료를 활용할 수 있는 여건이 우수한 시설을 먼저 선정하고 운영하여 경제적 타당성을 갖춘 후에 보급을 확대하는 것이 바람직하다. 바이오매스 활용 여건이 우수한 시설의 조건으로는 난방 연료 소비량이 많고 인접 지역의 바이오매스 부존 자원이 상대적으로 풍부하여야 한다. 수령이 많은 과수단지가 밀집된 지역은 단위면적당 부산물 발생량이 많고 근거리에 집중되어 있으므로 수집 및 운송 여건이 우수하다. 이러한 지역에 인접한 일정 면적 이상의 대규모 시설의 입지 조건이 우수하다고 할 수 있다. 입지 여건이 우수한 시설작물 재배지에서 바이오매스를 활용한 난방시스템을 일정 기간 운영한 후, 그 성과를 바탕으로 경제적 타당성을 분석하여 이를 근거로 보급을 확대하여야 한다. 농촌지역 바이오매스 자원의 에너지화 확대를 위한 방안은 요약하여 Fig. 3에 제시하였다.

Ⅳ. 요약 및 결론

유가의 안정·하락세로 인해 재생에너지에 대한 투자와 경

제성이 감소하고는 있지만 온실가스 감축과 에너지 자급 향상의 필요성으로 인해 재생에너지의 도입과 이용은 지속적으로 유지 내지는 확대될 것으로 보인다. 특히 바이오매스 에너지는 다른 재생에너지와 비교할 때 보다 높은 경쟁력을 갖고 있으며, 그 활용도는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 바이오매스 자원 가운데 농업부산물은 사료로 이용되고 있는 볏짚을 제외하면 거의 활용되지 않고 있다. 밭작물 부산물은 오히려 농지에서 소각되어 대기오염, 화재, 연기로 인한 시야확보 방해 등의 유발하고 있어 적절히 수거하여 활용할 필요성이 높다.

본 연구에서는 농촌지역을 대상으로 농업부산물 바이오매스의 활용을 제고하기 위한 방안을 수립하고자 시설 재배지에서 난방 연료를 대체하기 위한 방안으로서 고형연료인 바이오매스 자원을 안정적으로 공급할 수 있는 방안을 제시하였다. 국내 시설작물 재배지에서 난방을 위한 단위 면적당 연간 에너지 소비량은 78 TOE/ha 수준이다. 농업부산물 만으로는 국내 시설작물 재배지의 에너지 소요량을 충족시킬 수는 없으나 기존의 우드칩을 혼합이용하고 도입 여건이 우수한 시설농가를 선별하여 바이오매스 활용 설비를 도입할 필요가 있다. 안성시의 시설재배지 난방을 위해서는 약 4,920 TOE의 에너지가 소요되는데 이를 안성시의 주요 농업부산물 바이오매스로 대체하면 약 44 %만을 공급할 수 있다. 따라서 농촌지역 바이오매스 자원의 발생량이나 활용시설로부터의 거리 등을 고려하여 여건이 우수한 시설을 선별하여 우선적으로 도입하는 것이 바람직하다.

미활용 농업부산물 바이오매스의 적정 가격을 등유가격과 바이오매스 활용설비에 대한 투자 조건을 고려하여 추정하였다. 함수비를 추가로 고려한 단위 중량당 열량을 기준으로 농업부산물 바이오매스의 가격은 톤당 약 10만원으로 계산되었다. 즉, 구입가격이 톤당 10만원까지는 등유를 이용하는 것과 대등하나 그 이상으로 가격이 상승하면 등유를 이용한 난방이 더 유리하다는 의미이다. 농촌지역 바이오매스 에너지 보급확대를 위해서는 적정가격에 의한 바이오매스의 거래와 이를 활성화할 수 있는 정책수립과 관련제도의 시행, 바이오매스 유통을 위한 다양한 인프라가 조성되어야 한다. 바이오매스 인프라에는 생산자로서 작물재배 농가와 소비자인 시설농가간 온라인 직거래 시스템, 소량의 바이오매스를 저장하기 위한 집하장, 연료로서 바이오매스 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 체계 등이 있다.

바이오매스를 이용한 시설난방 시스템을 본격적으로 보급하기 위해서는 기술 및 제도적으로 미흡한 부분을 보완할 수 있도록 먼저 시범사업을 시행하여야 한다. 이 후 농업부산물 등의 바이오매스 자원이 풍부한 지역 내에 규모가 큰 시설농가를 우선 선발하여 실증사업을 추진하여 이를 바탕으로 보급을 확대하는 것이 바람직하다. 장기적으로 농촌지역의 미활용 바이오매스를 이용하여 시설농업에서 소요되는 난방에너지를 대체하고 온실가스의 감축, 그리고 시설농가의 경영여건 개선효과를 기대할 수 있다.

사 사

본 연구는 2014년도 한경대학교 교비 파견 연구비의 지원에 의한 것임.

REFERENCES

1. Carbon Trust, 2011. Takig the heat : biomass heating. http://www.carbontrust.com. Accessed 12 Aug. 2015
2. Hong, S., 2004. Evaluation of Agricultural Biomass Resources for Renewable Energy − Biomass from Orchards and Non-paddy Fields. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 46(3): 85-92. (in Korean)
3. Hong, S., and J. H. Shim, 2008. Development and Assessment of a Downdraft Gasifier for Biomass Gasification. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 50(4): 89-97. (in Korean)
4. Hong, S., 2011. Experimental evaluation of Synthesis gas production from air dried woodchip. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*. 53(6): 17-22. (in Korean)
5. IRENA, 2012. *Biomass for Power Generation. Renewable Energy Technologies* : Cost Analysis Series Volume 1. International Renewable Energy Agency.
6. Jiang, D., D. Zhuang, J. Fu, Y. Huang, and K. Wen, 2012. Bioenergy potential from crop residues in China : Avaiability and distribution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 1377-1382.
7. Kang, G. C., 2012. Energy Saving in Heating for Greenhouse Horticulture Farms. Korea Korea Newspaper for Farmers and Fishermen. No. 2490. (in Korean)
8. Kim, B. S., 2014. *Strategic Development of Biomass Energy*. Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs. (in Korean)
9. KOSIS(Korea Statistical Information Service), 2015. http://kosis.kr. Accessed 10 Aug. 2015. (in Korean)
10. Lee, S., 2014. Energy Saving in Horticulture Greenhouses. http://www.af.ac.kr Accessed 4 Jun. 2015. (in Korean)
11. MAFRA (Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs), 2014a. *Survey on Vegetable Production and Greenhouses* - 2013. (in Korean)
12. MAFRA (Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs),

2014b. *Statistics of Agriculture, Food, and Rural Affairs.* (in Korean)

13. MAFRA (Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs), 2015. News Material - Limiting tax exemption for diesel fuels for heating greenhouse facilities. http://www.mafra.go.kr Accessed 22 Aug. 2015. (in Korean)
14. McCarty, J., 2014. Crop residue burning in the United States. Retrieved from http://www.eoearth.org/view/article/151540 Accessed 10 May. 2015.
15. Noh, K. S., 2010. *Investigation on Biomass Use in Korea*. Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET). (in Korean)
16. Ontario MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Biomass Burn Characteristics Factsheet. http://www.omafra.gov.on.ca. Accessed
17. Park, W. K., 2013. *Development of Continuous Utilization of Biomass in Rural Area*. National Academy of Agricultural Sciences. Rural Development Agency. (in Korean)
18. Petronet, 2015. http://www.petronet.co.kr. Accessed 10 Sept. 2015. (in Korean)
19. RDA(Rural Development Agency), 2008. *Top 10 Energy Saving Technologies in Agricultural Production*. http://www.sangju.go.kr Accessed 16 Aug. 2015. (in Korean)
20. RETSCREEN, 2004. Biomass heating project anaylsis. RET Screen International. http://www.retscreen.net. Accessed 20 Jul. 2015.
21. Rosillo-Calle, F., P. de Groot, S. L. Hemstock, and J. Woods, 2007. *The Biomass Assessment Handbook − Bioenergy for a Sustainable Environment*. Earthscan. pp. 59. London, United Kingdom.
22. Suh, G. Y., and Kim. S. H, 2012. Case Study and Evaluation of Economic Feasibility of Combined Heat and Power System using Woodchip Biomass. *New and Renewable Energy* 8(4): 21-29. (in Korean)
23. World Energy Council, 2013. *World Energy Perspective : Cost of Energy Technologies*. London, United Kingdom.