

농업부문 바이오매스 자원 환산계수 및 잠재발생량 산정

박우균, 박노백,* 신중두, 홍승길, 권순익

농촌진흥청 국립농업과학원

Estimation of Biomass Resource Conversion Factor and Potential Production in Agricultural Sector

Woo Kyun Park, Noh Back Park,* Joung Du Shin, Seung Gil Hong and Soon Ik Kwon (National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea)

Received: 25 July 2011 / Accepted: 16 September 2011

© 2011 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: Currently, national biomass inventory are being established for efficient management of the potential energy sources. Among the various types of biomass, agricultural wastes are considered to take the biggest portion of the total annual biomass generated in Korea, implying its importance. However, the currently estimated amount is not reliable because the old reference data are still used to estimate total annual amount of agricultural wastes.

METHODS AND RESULTS: Therefore, to provide reliable estimation data, a correct conversion factor obtained by taking into account the current situation is required. For this, the current study was conducted to provide the conversion factors for each representative 8 crop through a field cultivation study. Also conversion factors for 18 crops were calculated using the average amount of each crop produced during 2004 and 2008, subsequently; total amount of agricultural wastes generated in 2009 was estimated using these conversion factors. The total biomass of rice straw and rice husk generated in 2009 were 6.5 and 1.1 million tons, respectively, which consist 75% of the total agricultural based wastes, while the total

biomass of pepper shoots and apple pruning twigs were 1.0 and 0.6 million tons, respectively. Despite the high amount of rice-based biomass, their applicability for bio-energy production is low due to conventional utilization of these materials for animal feeds and beds for animal husbandry. In addition to exact estimation of the total biomass, temporal variations in both generated amount and the type of agricultural biomass materials are also important for efficient utilization; fruit pruning twigs (January to March); barley-, bean-, and mustard-related waste materials (April to June); rice-related waste (September to October).

CONCLUSION(s): Such information provided in this study can be used to establish a master plan for efficient utilization of the agricultural wastes on purpose of bio-energy production.

Key Words: Agricultural by-products, Biomass inventory, Biomass conversion factor, Potential energy source

서론

19세기 이전까지 전 세계적으로 가장 많이 이용된 주 에너지원은 바이오매스(biomass)이며, 현재도 일부 저개발 국가에서 바이오매스를 통한 에너지원을 공급받고 있다(Son *et al.*, 2007). 국제통계에서도 현재 약 10% 정도의 목질계 바이오매스를 통한 에너지공급이 이루어지고 있으며, 또한 곡물, 농작물 찌꺼기, 축산분뇨, 음식물쓰레기 등이 바이오매스로서 에너지원으로 이용되고 있다(산림청, 2003). 우리나라의 에너지 수

*교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-31-290-0233; Fax: +82-31-290-0206;
E-mail: pnb502@korea.kr

입의존도는 96.4%로, 이 중 석유의 비중이 42.1%로 가장 높고 신재생에너지의 비중은 2.2%로 낮은 수준(Yearbook of energy statistics, 2010)이기 때문에 에너지 의존도를 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. 바이오매스의 에너지 전환 중요성이 부각되고 있는 시점에서 바이오매스의 활용 정책과 계획수립 및 산업적 기술개발을 위해 가장 기초가 되는 자원량의 정확하고 추정가능한 정보가 절실히 요구되고 있다(한국축산경제연구원, 2010).

농촌지역에서 발생하는 각종 바이오매스 자원은 관리되지 않을 경우 주변 환경에 부정적인 영향이 발생 가능하지만 적절히 활용할 경우 재생에너지의 개발과 환경보전의 효과를 얻을 수 있다(Hong, 2004). 그러나 농업 바이오매스 자원이 산개되어 있어 발생량에 대한 정확한 통계가 부족하고, 수집 및 수송의 어려움이 있어 효율적인 계획과 최적 이용방안 등이 미흡한 실정이다.

국외의 바이오매스 자원에 대한 조사 연구는 다양한 산정 방법으로 꾸준히 지속되고 있는데, NREL(natural resource ecology laboratory, 2005)은 FAO, USDA에서 실측, 분석한 작물별 건조중량, 작물과 잔여물의 비 등의 자료를 이용하여 바이오매스 잠재량을 추정하고 있으며, 최근에는 작물의 생산성에 영향을 미치는 인자를 고려하여 추정하거나 위성영상 자료를 분석하여 바이오매스 잠재량을 추정하는 등 최신 기법을 통한 활발한 연구가 진행되고 있다(Elmore *et al.*, 2007; Fischer, 2005). 그러나 국내의 경우 에너지기술연구소 보고서(바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III), 1991)에 의해 농산, 임산, 축산, 수산, 도시 및 산업 바이오매스로 구분하여 자원특성, 부존량, 이용 가능성에 대하여 분석하였고, Hong(2004)는 농업부산물 바이오매스 잠재량을 단위발생량, 원소조성비, 단위 중량당 발열량 등의 자료를 실측, 수집 및 분석하여 농촌지역의 바이오매스 잠재량을 추정하는 연구를 보고하였다. Kim 등(2009)은 통계자료를 바탕으로 바이오매스 자원 DB 구축 및 분포도를 작성하였는데, 농업부산물의 경우 일부에 한정되어 있어 다양한 농업부산물의 발생량 추정에 어려움이 있다. 국내에서 바이오매스 자원조사에 대한 연구는 오래전부터 간헐적으로 이루어져 왔으나 농업부문에서는 제한적이었고, 농작물의 바이오매스 발생량은 육종기술의 발전으로 끊임없는 품종개량과 원료 생산시 투입되는 작물의 종류, 품종선택, 토양의 양분상태, 비배관리, 기상여건 등에 따른 크게 달라질 수 있다. 이렇게 국내 농업 바이오매스의 발생량 조사 자료가 너무 오래된 과거자료를 인용하고 있으며, 타 용도로 재이용 되고 있는 농업부산물 등을 포함시켜 다소 과다하게 이용 가능량을 추정하여 농업 유래 바이오매스 자원의 활용부분에서 부족한 측면이 있기 때문에 체계적인 농업부문의 바이오매스 부존 자원량 조사 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 농업부문에서 발생하는 주요 농작

물을 대상으로 재배지역, 품종, 비옥도, 기후조건 등 외부 환경요인에 대한 영향을 최소화하는 신뢰도 높은 바이오매스 환산계수를 개발하여, 농업부문에서의 바이오매스 발생량을 추정하였다.

재료 및 방법

연구방법

본 연구는 농촌지역에서 발생되고 있는 농업부산물의 바이오매스 자원조사를 실시하였다. 대상 농업부산물은 미곡, 맥류, 서류, 잡곡 등과 과수부산물을 대상으로 하였으며, 자료의 수집은 문헌조사, 통계조사 및 정책자료 등을 활용하였다. 작물의 선정은 연중 통계자료 활용이 가능한 작물과 발생량이 많은 농업부산물을 대상으로 하였다. 농작물 재배면적 및 생산량은 농업통계연보(2004~2008)를 활용하였으며, 바이오매스 발생량은 바이오매스 발생량 환산계수를 산정하여 대상 연도의 작물 생산량을 기준으로 산정하였다.

지표산정방법

농업부문 바이오매스 환산계수를 산정하기 위하여 문헌을 이용하여 작물별 단위면적당 바이오매스 발생량을 조사하여 정리하였다(Table 1). 작물별 단위면적당 발생량을 기준으로 작물 재배면적, 작물생산량 통계자료를 적용하여 환산계수를 산출하였다. 작물 생산량 기준 환산계수는 외부영향(기후변화, 토양 비옥도, 재배지역, 품종)을 고려하여 5년 작물생산량 평균값을 이용하였다. 농업부문 바이오매스 환산계수는 Donald 와 Hamblin(1976)이 제안한 수확지수(Harvest index)를 수정(modified)하여 이용하였으며(식 1), 작물시험포장에서 재배된 시료로부터 산정된 바이오매스 환산계수는 Kim 등(2009)의 자료를 바탕으로 하였는데, 뿌리부분의 바이오매스를 제외한 지상부 바이오매스를 대상으로 산정하였으며(식 2, 3), 적용 수식은 다음과 같다.

$$HI = \frac{Economic\ yield}{Biomass} \tag{1}$$

$$\text{농업부문 바이오매스 환산계수} = \frac{\text{식용부분 건물생산량}}{\text{총 건물생산량(뿌리부 제외)}} \tag{2}$$

농업부문 바이오매스 환산계수(생산량기준) =

$$\frac{\text{면적당 바이오매스 발생량 (kg/10a)}}{\text{5년 평균 곡물 생산량 (kg/10a)}} \tag{3}$$

Table 1. Biomass production of units

| Crop | By-products | Yield per production(kg/10a) | Reference |
|--------------|-------------|------------------------------|--|
| Paddy rice | Straw | 653.8 | 한국에너지 기술연구소, 1991 Hong, 2004 |
| | Husks | 118.1 | |
| Under rice | Straw | 358.0 | |
| | Husks | 79.6 | |
| Barley | Haulm | 275.0 | |
| Naked barley | Haulm | 298.0 | |
| Potato | Haulm | 131.0 | |
| Sweet potato | Haulm | 646.0 | |
| Corn | Straw | 566.0 | |
| Soybean | Stalk | 168.0 | |
| | Shell | 70.0 | |
| Pepper | Stem | 294.0 | |
| Sesame | Stem | 131.0 | |
| Rape | Stem | 305.0 | |
| Apple | Branch | 1,899.0 | |
| Persimmon | Branch | 350.0 | |
| Pear | Branch | 1,433.0 | |
| Grape | Branch | 2,686.0 | |

결과 및 고찰

주요 농작물의 재배면적과 수량 변화 및 바이오매스 자원 특성

농촌지역 바이오매스 자원의 종류 및 발생특성을 조사하기 위하여 2003~2008년의 주요 농작물의 재배면적과 생산량의 변화를 조사하였다(Table 2). 벼의 경우 2003년 1,001 천ha에서 2008년 927 천ha로 매년 꾸준히 감소하여 약 7.4%의 재배면적이 감소된 것으로 나타난 반면, 벼 생산량은 2003년 609 kg/10a에서 2008년 694 kg/10a로 증가된 것으로 나타났다. 과수 중 사과와 감의 경우 2003년 재배면적은 26 천ha에서 1,384 kg/10a의 생산량을 나타낸 반면, 2008년 재배면적 30 천ha에서 1,569 kg/10a로 재배면적은 감소하였으나 생산량은 증대된 것으로 나타나, 전체적으로 주요 농작물의 재배면적은 지속적으로 감소되고 있지만 생산량은 증가되고 있는 것으로 나타났다. 작물 부산물의 경우에도 재배면적이 감소하여 부산물의 발생량이 감소되는 것이 아니라 일조시간, 육종관리, 품종개량 등의 요소가 농작물 생산성에 영향을 미치기 때문에 농업부산물의 발생량도 차이가 나타날 수 있다. 그러나 농촌 지역에서 발생하는 이용 가능한 농업부산물의 발생량을 추정하는데 있어 대부분 재배면적을 기준으로 발생량을 산정하고 있기 때문에 비교적 정확한 통계를 산정하는 데 있어 다소 무리가 있을 것으로 판단되었다.

Table 2. Change of cultivated area and yield in major crop

| 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 |

농촌지역에서 발생하는 이용 가능한 바이오매스 자원을 파악하기 위해 통계자료 및 문헌조사를 실시하였다(Table 3). 에너지기술연구소 보고서(바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III), 1991)에 의하면 바이오매스 자원의 부존특성과 국내외 바이오에너지 생산 기술 관련 분석을 통해 국내 바이오매스의 연구개발 방향을 제시하였는데, 현장조사와 통계자료를 이용하여 농산물의 재배면적으로부터 수확량을 산출하여 부산물을 추정하였다. 미국 부산물은 농림통계연보의 자료를 바탕으로 하였고, 미국을 제외한 작물은 재배면적과 재배면적당 부산물 생산량 비율을 이용하여 부산물 발생량을 추정하였다. 농업부산물은 연간 1,185 만톤의 부존자원에서 약 30% 정도인 300 만톤의 보급 잠재량으로 105 만TOE 정도의 에너지량을 가지고 있는 것으로 나타났고, 임산자원은 연간 약 1,200 만톤의 임목축적에 의한 부존자원량이 발생되어, 이 중 연간 약 200 만톤의 가용 자원으로 85 만TOE 정도의 잠재 에너지를 보유하고 있는 것으로 보고하고 있다. 또한 Hong 등 (2005)은 농산 바이오매스의 부존량을 추정하기 위해 발열량 및 부존량을 고려하여 적정 바이오매스를 선정하고, 선정된 바이오매스 자원의 부존 특성을 조사하였다.

1999년 환경산업총람에 의하면 축산분뇨의 경우 연간 4,684 만톤이 연간 발생하며 퇴·액비 등을 제외한 미처리 분뇨량은 약 156 만톤/년 정도인 것으로 보고하고 있다. 자원별 부존자원량은 8,208 만톤/년으로 약 1,128 만TOE/년의 잠재에너지를 보유하고 있는데 이 중 약 20.5% 인 약

1,031 만톤/년의 가용 잠재량이 있는 것으로 보고되고 있다 (Table 3). 가축별 가축분뇨 배출 원단위는 1999년 환경부고시(제99-109호)를 개정하여 이후 축산농가의 품종개량, 사료 이용기술의 증진 및 가축관리 기술의 향상과 세정수 사용량을 최소화 하는 등 가축사육기술이 발전함에 따라 축산농가의 현실에 맞는 가축별 가축분뇨 배출원 단위를 개정하여 가축분뇨에 의한 환경오염 부하량 산정을 현실화 할 수 있도록 하였다(Table 4).

Kang 등(2006)은 농업부문 바이오매스의 이용을 촉진하기 위한 국내 바이오매스의 발생 및 이용 실태를 분석하여 문제점을 파악하여 관련 지원제도와 정책내용을 검토하였으며, Park 등(2007)은 농림업 부문 바이오매스의 자원화에 따른 경제성을 분석하여 국내 바이오매스의 이용방향과 전략 등을 제시하였다. 그러나 국내의 바이오매스 자원조사에 대한 연구는 축산분뇨 원단위 개발 등 일부 지속적인 통계 조사를 통하여 관리한 부분도 있지만, 농업부산물의 경우 Table 3과 같이 잠재 이용량이 가장 높은 부분임에도 불구하고 과거 자료를 근거로 현재까지 인용되어 잠재발생량이 산출되고 있다. 또한 농작물 바이오매스 발생량은 육종기술의 발전과 기후변화에 따른 재배환경 변화 등으로 차이가 나타나고, 다년생 과수의 경우 수령에 따라 바이오매스의 양이 달라질 수 있기 때문에 국가 단위의 바이오매스 인벤토리의 구축이 요구되며 특히 농업 부산물의 경우 신뢰도와 재현성이 높은 바이오매스 환산계수 개발을 통해 효과적인 자원관리가 요구되어진다.

Table 3. Natural resources and the available potential of biomass type (KREI, 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 | |
| Livestock manure | 4,684 | 90 | 156 | 3.0 | |
| Food waste | 430 | 17 | 130 | 5 | Lee et al.,(1999) |
| Forest resources | 1,200 | 510 | 200 | 85 | |
| Paper and wood waste | 540 | 108 | 160 | 32 | Lee et al.,(1999) |
| Wastewater sludge | 169 | 3 | 85 | 2 | Lee et al.,(1999) |
| Total | 8,208 | 1,128 | 1,031 | 231.6 | |

Table 4. Manure production unit's factor for livestock species(MOE, 2009)

| Livestock animals (unit) | Manure production unit's factor | |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------|
| | 1999 | 2008 |
| Pig (L/heads · day) | 8.6 | 5.1 |
| Korean native Cattle (L/heads · day) | 14.6 | 13.7 |
| Dairy cattle (L/heads · day) | 45.6 | 37.7 |
| Lay Chicken (L/1,000 heads · day) | - | 124.7 |
| Broiler Chicken (L/1,000 heads · day) | - | 85.5 |

주요 농작물의 생산량 및 재배면적에 따른 바이오매스 잠재발생량 환산계수 산정

농촌지역에서 발생하는 농업부산물의 발생량을 추정하기 위한 방법은 에너지기술연구소 보고서(바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III), 1991)에 의하면 기준연도의 총생산량에 단위면적당 생산량에 대한 부산물의 비율로 구하는 방법과 기준연도의 총 재배면적에 단위 면적당 부산물 발생비율로 구하는 방법이 있다. 그러나 바이오매스 발생량을 추정하기 위하여 기존 문헌에서 대부분 기준연도의 총 재배면적을 바탕으로 산정하고 있다. Table 5는 에너지기술연구소 보고서(바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III), 1991)의 자료를 바탕으로 기준연도(2009)의 총 재배면적에 단위면적당 발생량을 정리하여 이를 바이오매스 전환계수로 환산한 결과이다. 그 결과 농업부산물은 재배면적과 단위면적 당 부산물의 발생단위에 비례하여 발생하는 것으로 나타났는데, 미곡류의 총 재배면적이 928,000 ha(농업통계연보, 2009)일 때 부산물인 벃짚과 왕겨의 발생량은 각각 6,067.3, 1,096 천톤이었고, 이 때 바이오매스 환산계수는 6.538, 1.181 이었다(Table 5). 보리의 경우 8,100 ha의 재배면적에서 연간 22,300 천톤의 보리짚이 발생하였으며, 바이오매스 환산계수는 2.75이었다. 그러나 기준연도의 총 재배면적을 바탕으로 단위 면적당 부산물을 추정하는 방법은 기준연도에 따라서 곡물 생산량에 차이가 발생하고 이에 따라 부산물의 발생양도 달라질 수 있기 때문에 농업부문의 바이오매스 발생량 환산계수를 산정하

기 위한 기초 데이터로 활용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 총 생산량에 단위면적당 생산량에 대한 부산물의 비율로 산출하였는데, 작물의 종류, 품종, 토양 양분상태, 기상조건에 따라 곡물의 생산량과 이에 따른 농작물 부산물의 발생량도 차이가 발생하기 때문에 농작물 총 생산량을 2004~2008년의 5년간 평균값을 이용하여 농업부산물의 단위 발생량을 산출하여 바이오매스 환산계수를 산정하였다(Table 5). 미곡류와 맥류의 5년 평균(2004~2008) 총생산량에 단위면적당 생산량의 비율을 바탕으로 산정한 부산물의 바이오매스 환산계수는 논벼짚 0.982, 왕겨 0.177, 밭벼짚 1.062, 왕겨 0.236 등으로 나타났다. 또한 생산량을 적용한 바이오매스 환산계수를 맥류, 서류, 유지류, 과수 전정가지 등을 Table 5에 나타내었다.

Table 6은 국립농업과학원 포장에서 2003~2007년까지 10개 작물을 대상으로 재배하여 바이오매스 생산량을 조사한 결과이다. 작물의 지상부 바이오매스 생산량은 작물의 식용부분 건물량을 수확지수로 나누어 표현하였고, 수확지수는 총 건물 중 경제적 소득 즉, 식용부분의 비율을 적용하여 바이오매스 생산량을 산출하였다(Kim *et al.*, 2009). 벼의 경우 곡실 부분과 줄기, 잎 부분의 양이 각각 4.1, 4.2 ton/ha로 비슷하였고, 유지작물인 참깨, 들깨, 땅콩, 유채 등은 곡실 부분이 줄기, 잎보다 생산량이 낮았다. 곡실과 줄기, 잎을 고려하여 산정한 바이오매스 환산계수는 벼의 경우 1.02, 참깨 5.8, 고구마 0.85, 고추 2.6 등으로 산정되었다.

Table 5. Cultivated area and crop production for estimation of biomass conversion factor

| | By-products | Production (kg/10a) | Cultivated area | | Crop production | |
|--------------|-------------|---------------------|-----------------|--------|-----------------|-------------------|
| | | | 1,000 ha | ton/ha | kg/10a | Conversion factor |
| Paddy rice | straw | 653.8 | 928.0 | 6.538 | 666 | 0.982 |
| | husks | 118.1 | | 1.181 | | 0.177 |
| Upland rice | straw | 358.0 | 7.8 | 3.580 | 337 | 1.062 |
| | husks | 79.6 | | 0.796 | | 0.236 |
| Barley | haulm | 275.0 | 8.1 | 2.750 | 467 | 0.589 |
| Naked barley | haulm | 298.0 | 26.3 | 2.980 | 450 | 0.662 |

Table 6. Estimate of the biomass conversion factor by experimental study on the crop cultivation (Kim *et al.*, 2009)

| Crop | Fruit(ton/ha, A) | Stem, Leaf (ton/ha, B) | Total(ton/ha) | Biomass conversion factor(B/A) |
|-----------------|------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
| Rice | 4.1 | 4.2 | 8.3 | 1.02 |
| Unhulled barley | 2.2 | 2.7 | 4.9 | 1.23 |
| Soybean | 1.4 | 1.4 | 2.8 | 1.00 |
| Sesame | 0.5 | 2.9 | 3.4 | 5.80 |
| Perilla | 0.7 | 4.3 | 5.0 | 6.14 |
| Peanut | 1.8 | 3.2 | 5.0 | 1.78 |
| Rape | 1.0 | 4.7 | 5.7 | 4.70 |
| Sweet potato | 4.7 | 4.0 | 8.7 | 0.85 |
| Potato | 7.9 | 1.4 | 9.3 | 0.18 |
| Pepper | 1.5 | 3.9 | 5.4 | 2.60 |

농촌지역에서 발생하는 바이오매스 발생량을 조사하기 위해 5년 평균 총생산량을 기준으로 단위면적당 부산물 생산량, 총 재배면적에 단위 면적당 부산물 발생비율, 그리고 시험포장 조사 결과를 바탕으로 한 바이오매스 환산계수를 Fig. 1에 비교분석하여 나타내었다. 조사방법에 따라 총 26 항목의 환산계수 값이 상이하였으나 전체적으로 시험 포장조사를 통한 바이오매스 환산계수 값이 높게 나타났는데, 이는 식량 작물 및 유지류의 경우 벼짚과 왕겨의 구분 없이 통합하여 산정하였기 때문으로 판단된다. 그러나 재배면적을 적용한 바이오매스 환산계수가 생산량 기준 바이오매스 환산계수보다 높게 나타났는데, 생산량 기준 논벼의 바이오매스 환산계수는 재배면적 기준보다 약 5.6배 낮게 나타났고, 왕겨의 경우도 3.02배 정도 낮았다. 고추의 경우 생산량 기준 환산계수 2.18, 재배면적 기준 0.465로 생산량 기준보다 약 4.7배정도 높았으나, 시험 포장조사를 통한 환산계수는 2.6으로 생산량 기준

환산계수와 유사하였다. 기존의 바이오매스 발생량 산정을 위한 재배면적 기준 바이오매스 환산계수가 외부 환경인자의 영향을 고려하지 않았기 때문에 비교적 높게 산출되는 경향을 나타내었다. 또한 포장조사 결과도 통계를 바탕으로 한 바이오매스 발생량과 차이를 보였는데, 보리줄기의 경우 재배면적 기준 보다 약 1.27배 높은 바이오매스 환산계수 1.23으로 나타났고, 조미채소류나 유지류, 과수 전정가지도 통계에 의한 바이오매스 발생량보다 포장조사를 통한 발생량이 높게 나타났다. 따라서 농업부산물의 바이오매스 발생량 산정을 위한 방법은 실제 조사를 통해 산정하여 활용하는 것이 타당하지만 현실적으로 전수조사가 불가능하기 때문에 포장조사를 통한 바이오매스 환산계수를 최대한 이용하고 재배면적을 이용한 방법보다 생산량을 고려한 농업부산물 바이오매스 산정이 적절할 것으로 판단된다.

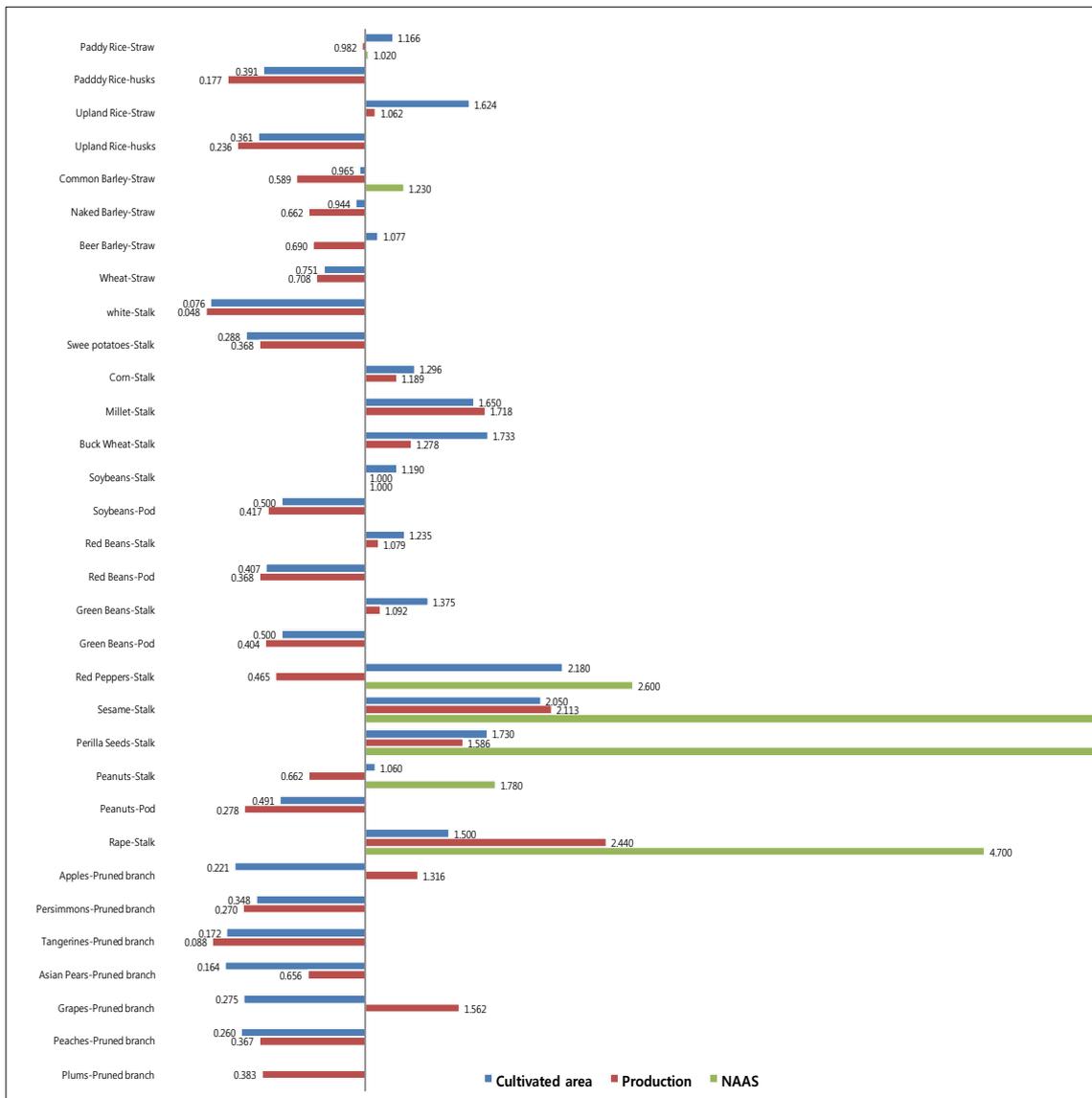


Fig. 1. Comparison of biomass conversion factors.

Table 7은 주요 농작물의 바이오매스 환산계수를 결정하고, 이를 바탕으로 26종의 농작물의 바이오매스 발생량을 산정한 결과이다. 바이오매스 환산계수는 실제 포장조사를 통해 산정한 바이오매스 환산계수를 우선 사용하였고, 그 외 농작물의 바이오매스 환산계수는 5년 평균 총 곡물생산량을 기준으로 산정한 환산계수로 결정하여 2009년 주요 농작물의 바이오매스 연간 발생량을 추정하였다. 논벼의 2009년 생산량은 6,441 천톤이었고 환산계수 1.02를 적용하였을 때 연간 약 6,570 천톤의 벚짚이 발생하였으며, 왕겨의 경우 환산계수 0.777을 적용하였을 때 약 1,140 천톤이 발생한 것으로 산정되었다. 과수의 경우 2009년 사과 생산량은 470 천톤이었고, 환산계수 1.316을 적용하였을 때 약 619 천톤의 전정가지가 발생하는 것으로 나타났다. 과수의 경우 사과, 포도, 배의 전정가지가 주로 많이 발생하는 것으로 나타났고, 농업부산물의 경우 벚짚이 가장 많이 발생되었으며, 고추 줄기, 고구마 줄기, 들깨 줄기 순으로 부산물이 발생하는 것으로 나타났다. 농업부산물과 과수 부산물을 발생량별 비율로 Fig. 2에 나타내었다. 이 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것은 벚짚이었고, 왕겨를 포함시킬 경우 전체 부산물 발생량에 75%를 차지하고 있으며, 고추 줄기가 약 10%, 사과 전정가지가 약 6% 정도 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 벚짚과 왕겨의 경우 기존에 가축 사료나 축사 깔짚 등으로 재이용되고 있는 측면이 높기 때문에 실제 바이오매스 에너지원으로서의 활용 측면은 낮은 것으로 예상된다.

이와 같이 농업부산물의 에너지화를 위해서 잠재 발생량의 정확한 산정도 필요하지만 농업부산물의 특성상 시기별 발생량과 부산물의 종류가 달라지기 때문에 시기별 바이오매스 발생을 고려해야 한다(Table 8). 과수 전정가지 등 과수 부산물의 경우 1~3월 사이에 발생이 집중되는 것으로 나타났고, 맥류와 서류 및 유채등이 4~6월에 발생되었으며, 미곡 등 다른 부산물의 9, 10월에 집중하여 발생하는 것으로 나타났다.

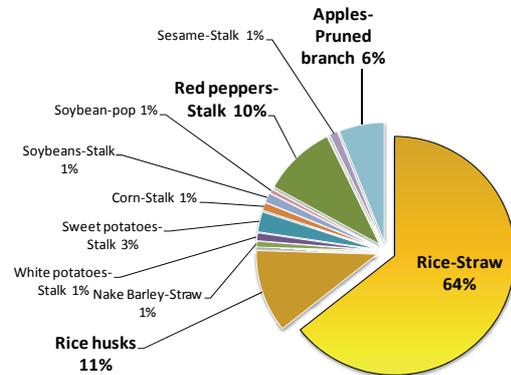


Fig. 2. Types and generation agricultural by-products.

Table 7. Estimate of agricultural residue production and biomass conversion factor

| Crop | Production (ton) | By-products | Biomass conversion factor | Biomass total production (1,000 ton/year) |
|------------------|------------------|-------------|---------------------------|---|
| Paddy rice | 6,441,875 | Straw | 1.020 | 6,570.7 |
| | | Husks | 0.177 | 1,140.2 |
| Under rice | 26,406 | Straw | 1.062 | 28.0 |
| | | Husks | 0.236 | 6.2 |
| Barley | 37,529 | Haulm | 1.230 | 46.2 |
| Naked barley | 120,609 | Haulm | 0.662 | 79.8 |
| Two-rowed barley | 82,907 | Haulm | 0.690 | 57.2 |
| Wheat | 10,359 | Straw | 0.708 | 7.3 |
| Potato | 604,592 | Haulm | 0.180 | 108.8 |
| Sweet potato | 329,351 | Haulm | 0.850 | 279.9 |
| Corn | 92,830 | Straw | 1.189 | 110.4 |
| Foxtail millet | 1,249 | Haulm | 1.718 | 2.1 |
| Buck wheat | 2,545 | Haulm | 1.278 | 3.3 |
| Soybean | 132,674 | Stalk | 1.000 | 132.7 |
| | | Shell | 0.417 | 55.3 |
| Red bean | 5,995 | Stalk | 1.079 | 6.5 |
| | | Shell | 0.368 | 2.2 |
| Mung bean | 1,589 | Stalk | 1.092 | 1.7 |
| | | Shell | 0.404 | 0.6 |

요 약

국내의 바이오매스 자원조사에 대한 연구에서 농업부산물의 경우 잠재 이용량이 가장 높은 부분임에도 불구하고 과거 자료를 근거로 인용되어 잠재발생량이 산출되고 있다. 따라서 국가 단위의 바이오매스 인벤토리의 구축이 요구되고 신뢰도와 재현성이 높은 바이오매스 환산계수 개발을 통해 효과적인 자원관리가 이루어져야 한다. 본 연구에서 포장시험을 통해 산정된 8종류의 농작물의 바이오매스 환산계수를 산정하였고, 2004~2008년 평균 곡물 총 생산량을 기준으로 농작물 18종의 바이오매스 환산계수를 산정하여 2009년 농업 유래 바이오매스 잠재 발생량을 추정하였다. 그 결과 농작물에서 발생하는 바이오매스량은 연간 약 11,600 천톤이었고, 이 중 벼짚의 발생량이 연간 약 6,507 천톤, 왕겨 1,140 천톤으로 농업부문에서 약 75%를 차지하였으며, 고추 줄기가 1,003 천톤으로 약 10%를 차지하였고, 사과 전정가지가 약 6%인 620 천톤 정도가 발생하는 것으로 추정되었다. 그러나 벼짚과 왕겨의 경우 기존에 가축 사료나 축사 깔짚 등으로 재이용되고 있기 때문에 실제 바이오매스 에너지원으로서의 활용 측면은 낮은 것으로 예상된다. 또한, 농업부산물의 에너지화를 위해서 잠재 발생량의 정확한 산정도 필요하지만 농업부산물의 특성상 시기별 발생량과 종류가 달라지기 때문에 계절 등에 따른 바이오매스 발생특성을 고려해야 한다. 과수 전정가지 등 과수 부산물의 경우 1~3월 사이에 발생이 집중되는 것으로 나타났고, 맥류와 서류 및 유채 등이 4~6월에 발생되었으며, 미곡 등 다른 부산물의 9, 10월에 집중하여 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 농촌지역 바이오매스의 효율적인 이용을 위해서는 바이오매스의 연중 안정된 수급 및 보급 가능한 이용체계 확립이 우선되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ0073912010)", Rural Development Administration, Republic of Korea

참고문헌

- Elmore, A.J., Shi, X., Gorence, N.J., Li, X., Jin, H., Wang, F. and Zhang, X., 2007. Spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China, *Biomass Bioenerg.* Available online 6 August.
- Fischer, G., 2004. Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar : results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia, *Biomass Bioenerg.* 28(2), 119-132.
- Hong, S.G., 2004. Evaluation of agricultural biomass resource for renewable energy : biomass from orchards and non-paddy fields, *J. Korean Soc. Agr. Eng.* 46(3), 85-92.
- Kim, G.Y., Ko, B.G., Jeong, H.C., Roh, K.A., Shim, K.M., Lee, J.T., Lee, D.B., Hong, S.Y. and Kwon, S.I., 2009. Estimating carbon fixation of 14 crops in Korea, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(6), 460-466.
- Kim, Y.H., Nam, J.J., Hong, S.Y., Choe, E.Y., Hong, S.G. and So, K.H., 2009. Establishment of database and distribution maps for biomass resources, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(2), 379-384.
- Lee, J.P., Hwang, K.R. and Park, S.C., 2008. Estimation method of potential biomass resources in Korea, *Korean J. Sol. Energ. Soc.* 332-336.
- Son, Y.M., Lee, K.H. and Kim, R.H., 2007. Estimation of forest biomass in Korea, *J. Korean For. Soc.* 4, 477-482.
- Walsh, M.E., 1998, Bioenergy crop economic analysis : status and needs, *Biomass Bioenerg.* 14(4), 341-350.
- Yook, H.Y. and Lee, M.G., 2009. A study on biomass utilization strategies of Hokkaido prefecture in Japan, *Korea J. Org. Res. Recycling Associ.* 17(2), 37-50.
- Donald, C.M. and Hamblin, J., 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria, *Adv. Agron.*, 28, 361-405.