

농업부산물물의 발열량 조사

Heating Values of Agricultural Wastes for Substitute Energy Development

홍 성 구 (한경대)

Hong, Seong Gu

Abstract

Animal waste is a major agricultural waste or wastewater that requires appropriate treatment to prevent environmental pollution. In this presentation, it is examined if incineration of manure compost is an alternative to treatment of animal waste. Heating values of selected biomass including manure compost were obtained using a bomb calorimeter. Based on heating values of manure and manure compost, ranging from 1200 - 1500 kcal/kg on wet base, incineration could be an alternative for animal waste treatment if available land is limited for land application and sufficient reduction of water content in manure compost.

1. 서론

현대 사회에 있어서 에너지소비량은 문명의 척도라고 할 정도로 에너지의 중요성은 그 의미가 매우 크다. 우리나라는 에너지의 외국에 대한 의존도가 매우 크며, 최근 10여년 동안 우리나라의 에너지 소비는 매년 10% 수준의 세계 최고의 증가율을 기록하고 있다. 논쟁의 여지가 아직 많지만 지구온난화와 세계기후협약에 의한 온실가스 배출량의 규제 등을 감안하면 대체 에너지에 대한 관련연구 및 투자가 절실한 시점에 있다. 각국에서 실용화 단계에 접어든 대체 에너지로서는 태양에너지, 풍력에너지가 있으며 바이오매스, 지열, 파력, 해양온도차 등을 이용한 에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 반면 우리나라는 여전히 원자력위주의 에너지 정책에서 크게 벗어나지 못하고 있으며 앞으로도 원자력발전의 비중은 늘어날 전망이다.

선진 외국과 비교해서 우리나라에서는 대체에너지에 대한 관심과 관련연구가 활발하지 못한 실정이며, 특히 폐기물의 처리를 위한 소각 및 에너지회수는 각종 민원으로 인해 난항을 거듭하고 있다. 일반 폐기물의 소각은 다이옥신과 같은 발암물질의 발생 등으로 인해서 소각시설의 완공에도 불구하고 원활히 이루어지지 않고 있다. 대체에너지원으로서 폐기물은 어느 대체에너지원보다 에너지 이용 가능성이 높으며, 최종 폐기물의 감량 등의 이점을 가지고 있다.

농촌지역에서도 폐기물의 발생은 예외가 아니다. 농촌지역의 주요 폐기물로서는 폐비닐과 축산분뇨를 들 수 있다. 경제위기로 인해 관련 업체의 채산성 악화로 문제가 있지만, 현재 폐비닐은 한국자원재생공사에서 수집, 재활용 및 처분하도록 되어 있다. 반면 축산폐기물은 수분함

량이 많아 직접 연료로는 불가능하다고 판단되어 혐기성 소화를 통한 메탄가스를 발생시켜, 이를 에너지원으로 이용한 경우가 있다. 그러나 축산분뇨에 의한 수질오염이 중요하게 인식되면서 현재 광범위하게 처리하는 방안이 톱밥을 이용한 퇴비화라는 것을 생각하면 직접 연료로서의 이용가능성을 완전히 배제할 필요는 없다고 판단된다. 수분조절재로서 이용되는 톱밥은 그 자체가 높은 열량을 가지고 있는 에너지원이기 때문이다. 톱밥과 같은 목재는 직접 소각하여 열원으로서 이용할 수 있으며, 바이오매스활용 차원에서 생화학적 공정을 거쳐 알콜 등을 생산할 수도 있다.

본 연구에서는 이와 같은 대체에너지 개발의 가능성과 축산분뇨의 처리라는 두가지의 효과를 얻을 수 있는 방안으로서, 농촌지역에서 발생하는 폐기물의 연소열을 조사하고 소각에 의한 축산분뇨의 처리와 에너지활용에 대하여 개략적인 평가를 하고자 한다.

II. 바이오매스 대체에너지의 개발현황

1. 대체에너지의 정의와 개발현황

폐기물은 “폐기물 관리법“에 의해서 일반폐기물과 산업폐기물로 구분된다. 가연성 물질의 함량이 많아서 연료로서 가능성이 높은 것은 일반폐기물 중 쓰레기, 산업폐기물 중 특정 산업폐기물에 속하는 폐유, 폐합성수지 등을 들 수 있다. 폐기물의 대체에너지원으로서 조건은 높은 발열량을 가지고, 안정성과 취급의 용이성을 갖추고, 정기적인 대량공급이 가능하여야 한다(도, 1989). 연소되는 물질의 열량은 연소생성물 중 수소의 연소로 인해 생성되는 수분의 상태에 따라서 저위발열량과 고위발열량으로 구분할 수 있다. 저위발열량은 연소생성물 중의 수분이 기체상태일 때의 발열량을 말하며, 고위발열량 또는 진발열은 연소생성물중의 수분이 액상일 때의 발열량을 말한다(이와 김, 1998).

대체에너지는 에너지 상황에 따라서 각 나라별로 정의가 다소 다를 수 있지만, 일반적으로 화석연료나 원자력이 아닌 모든 에너지원으로 정의하기도 하며, 다소 좁게는 신재생에너지(new and renewable energy)만을 의미하기도 한다(오, 1998). 따라서 대체에너지 또는 신재생에너지는 태양에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지, 소수력에너지, 수소에너지, 해양에너지, 지열에너지 등을 포함한다. 우리 나라에서는 “대체에너지 개발촉진법“을 1987년에 제정하고, 대체에너지 기술개발 기본계획에서는 제 1단계로서 1988년부터 4년동안의 연구기반구축, 제 2단계로서 실용화기반 구축, 제3단계로서 중점기술개발, 그리고 2002년부터 의 제 4단계에서는 기술의 상용화를 개발목표로 하여 관련 연구 및 사업이 추진 중에 있다(오, 1998). 이러한 노력의 결과로 태양열을 이용한 집열기의 국산화 및 보급, 소규모 태양광 발전의 이용이 확대되어 왔으나 결과는 매우 부진한 상황이다.

2. 바이오매스 대체에너지 기술동향

바이오매스는 생태학의 용어로서 생물량 또는 생체량으로 이해할 수 있다. 동물, 식물, 미생물의 유기물량을 의미하는 것으로서 건조중량으로 또는 탄소량으로 표시할 수 있다. 따라서 바이오매스란 식물의 줄기나 뿌리 등을 의미하나 에너지 또는 폐기물관련분야에서의 개념으로서 바이오매스는 죽은 유기물이나 폐자재, 가축의 분뇨 등을 포함한다.

바이오매스를 이용한 에너지는 화석연료와는 달리 지구의 생태계를 순환하는 탄소량의 변화에 영향을 미치지 않는 특징을 갖고 있다. 바이오매스를 이용한 에너지이용방안에는 목재를 직

접 연소하거나, 미생물을 이용하여 알코올을 생산 또는 메탄가스를 생산하는 방식 등이 있다. 대체에너지와 관련해 바이오매스에 대한 연구는 다양하게 이루어져 왔다. 남미에서는 사탕수수로부터 에탄올을 생산하여 이를 제한적으로나마 자동차 연료로서 이용하고 있으며, 일본에서는 목재를 포함한 산림자원과 각종 농업폐기물 등을 이용하고 있다(연구개발정보센터, 2000). 우리나라에서는 김(1994)은 참나무 수종에 대하여 성장촉진 및 열효율에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 대체로 알코올 생산이나 메탄가스이용과 관련된 것들이 대부분이다.

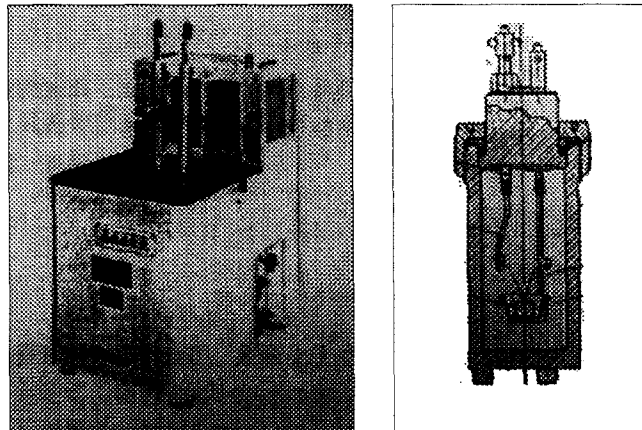
바이오매스로서 축산분뇨를 에너지원으로 인식, 활용하는 주된 방안은 혐기발효과정에 의해 메탄가스를 생산 및 이용하는 것이다. 이 방법은 오랜 역사를 가진 방법으로서 1970년대 석유 파동으로 활발한 연구와 이용을 위한 시도가 있었으나 적극적으로 활용되지 못하였다. 그러나 이 방안은 축산분뇨의 처리와 대체에너지의 생산이라는 두 가지 측면에서 도입한다면 재고의 여지가 남아있다고 판단된다.

III. 바이오매스의 발열량과 소각

1. 바이오매스의 발열량

가. 발열량 측정방법

연소되는 물질의 발열량은 열량계를 이용하여 측정할 수 있다. 연소에 의한 발열량은 밀폐된 용기 내에서 완전연소가 가능하도록 산소를 충분히 주입한 후, 그 용기를 물 속에 담근 후에 연소시켜 연소로 인한 열에 의해 상승한 물의 온도를 측정하는 방식으로 측정할 수 있다. 본 연구에서 이용한 열량계는 일본 요시다에서 제작된 bomb 열량계로서 두 개의 Beckman 온도계를 장착하여 수온상승을 1/100℃의 정도로 측정할 수 있다.



a) main body with thermometers

b) Bomb

Figure 1. Bomb Calorimeter (Yoshida 1013-B)

나. 발열량의 비교

본 연구에서는 계분, 돈분, 우분, 톱밥발효된 우분, 솔잎, 소나무수피 등을 안성시 축산농가 및 그 인접지역에서 채취하여 발열량을 측정하고, 문헌에 소개된 자료와 비교하였다(Table 1).

수집된 축분 등을 열량계를 이용하여 측정한 건조 중량당 고위발열량은 문헌의 자료와 유사하게 나타났다. 축분의 발열량은 3,000 - 4,000 kcal/kg의 범위에 있었으며, 톱밥발효과정을 거친 우분은 다소 낮았으나 역시 이 범위 내에 들었다. 발효퇴비화 과정을 거친 퇴비는 퇴비화과정에서 분해(발효)열 등으로 인해 열량이 다소 낮아진 것으로 판단된다.

Table 1. Comparison of heating values for different biomass

Biomass	Water content (%)	Higher heating value (kcal/kg)	Lower heating value (kcal/kg)	This study (higher, kcal/kg)
Poultry litter	68.0 - 74.2	2,786 - 3,239 ¹		2,910
Pig feces	69.5 - 76.7	2,723 - 4,105 ¹		4,000
Cow feces	80.2 - 87.5	2,700 - 3,536 ¹		3,574
Manure compost				3,348
Pine leaves				4,193
Rice(straw)		3,450 ¹		
Barley(straw)		2,030 ¹		
Grass		560 ¹		
Pine		4,940 - 6,290 ¹	4,620 - 5,900	5,400
Poplar		4,960 ¹	4,620	
Methane		13,280 ²	11,930	
Propane		11,940 ²	10,970	
Crude oil		10,000 ³		
Coal(antracitic)		4,500 ³		

¹ 本多淳裕(1986)

² 이규성, 김영식(1998)

³ 김연식(2000)

2. 축산분뇨 및 바이오매스의 소각

가. 소각기술 현황

유기성 가연물질을 연소시킬 때 연소에 관련된 효율을 높이기 위해서는 충분한 온도를 유지하고, 연소되는 물질의 혼합이 적절히 이루어져야 하며, 적절한 연소체류시간을 가져야한다(이와 김, 1998). 폐기물 등의 소각에서 요구되는 것은 소각물질의 함수비가 낮고, 적절한 공기량이 공급되어야 한다.

소각방식은 크게 회분식과 연속식으로 나눌 수 있다. 회분식은 연료를 1회 투입하여 소각하고, 소각이 완료된 후 소각재를 제거하는 방식이며, 연속식은 연료투입과 소각재의 제거가 연속적으로 이루어지는 방식이다. 연속식에는 부유소각로, 가동층소각로, 유동층소각로 등이 있다. 부유소각로는 배기가스로 연료를 부상시켜 소각시키는 방식으로서 연료가 작은 입자인 경우에 적합하며, 가동층소각로는 굵은 입자의 연료가 화격자 위에서 일정량씩 놓여 이동되면서 소각되는 방식이다. 유동층소각로는 모래 등의 유동매체와 함께 연료를 일정 높이로 부유시키면서 소각한다.

대형 쓰레기 소각로는 가동층 방식이 대부분이며 연료 또는 소각 대상물을 미세하게 분쇄하지 않고 소각할 수 있다. 대표적인 농업부산물인 왕겨와 벃짚의 소각에는 소규모인 경우 회분식, 대규모인 경우는 연속식의 가동층 소각로가 많이 이용되고 있다

국내에서는 축산분뇨를 직접 소각하는 방식은 높은 함수비와 소각에 소요되는 보조연료비 등에 의한 처리비용의 문제 등으로 거의 이용되지 않고 있는 실정이다. 일본의 경우 축분의 농지환원이 극히 곤란하고 적절한 처리대안이 없는 경우에 채택된 경우가 일부 보고된 바 있다(일본 농림성, 1974). 그러나 영국을 포함한 유럽의 경우 계분을 직접 소각하여 에너지를 회수하는 방법이 실용화 단계에 있다. 계분의 경우 다른 축분에 비해 함수비가 상대적으로 낮고 노오수와 혼합되지 않기 때문에 직접 소각이 가능하여 유리한 조건을 갖고 있다. 영국의 Glanford에서는 반경 50km 내의 농가로부터 계분을 수집하여 보조연료 없이 시간당 24톤을 소각하여 전력을 생산하는 13.5MW 규모의 발전소를 가동 중에 있다. 또한 영국의 Thetford에 위치하고 있는 계분 소각 발전소는 약 35MW의 전력을 생산하는 곳으로서 유럽에서 가장 큰 바이오매스 활용 발전시설이다(CADDET, 2000).

나. 축산분뇨 소각처리의 검토

축산분뇨의 처리방안으로서 혐기성 분해는 분해과정에서 얻어지는 메탄을 이용할 수 있기 때문에 에너지회수방안으로서 고려될 수 있으며, 따라서 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 혐기성 처리만으로는 적정 수준의 방류수 수질을 얻을 수 없기 때문에 추가의 처리과정이 요구된다. 반면에 축산분뇨의 소각은 분뇨에 포함된 비료성분이 소실되고, 불완전 연소로 인한 악취의 발생이나 함수비를 낮추기 위한 전처리 과정이 요구된다. 함수비가 높은 경우 보조연료비가 증가하게 되어 건조를 위한 전처리는 반드시 필요하다.

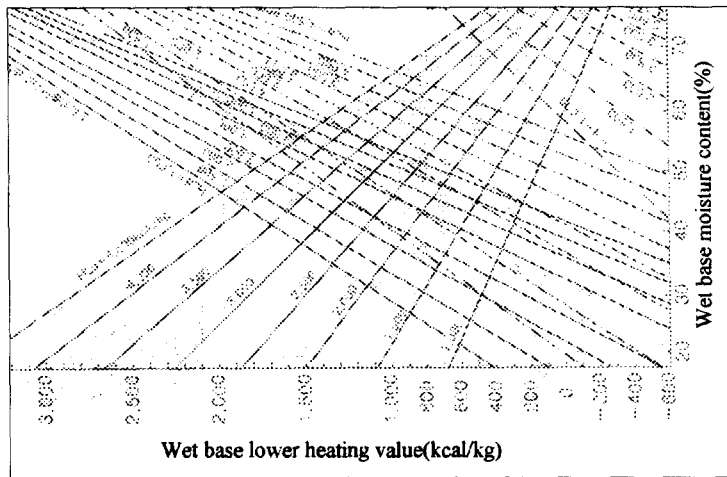


Figure 2. Relationship between wet base lower heating value and moisture content.

현재 축산농가에서 도입하고 있는 분뇨처리방법은 톱밥 등을 이용한 퇴비화가 대다수를 차지하고 있다(최, 1998). 퇴비화 과정을 거친 축분은 함수비가 40-50% 수준으로서 생분에 비해 훨씬 낮다. 물 1kg을 증발시키기 위해서는 이론상으로 600kcal이 필요하지만 효율을 고려하면 800-1,000kcal이 필요하다. 건조된 축분퇴비의 발열량이 실험결과에서 나타난 바와 같이

3,348kcal/kg이라고 한다면 축분퇴비의 소각은 가능하다고 추정할 수 있다. 수분을 함유하고 있는 물질의 경우 함수비에 따른 저위발열량은 Figure 2의 표에서 개략적으로 추정할 수 있다. 보통 건조고체연료의 경우 저위발열량은 고위발열량의 90 - 96%이다. 따라서 축분퇴비의 저위발열량이 3,000 kcal/kg이고 함수비가 40-50%이라고 하면, 축분퇴비의 습량기준 저위발열량은 1,200 - 1,500 kcal/kg 이 된다. 1996년 현재 퇴비의 판매가격은 20kg에 500-3000원 수준이다 (유와 정, 1996). 함수비를 축분퇴비 20kg의 발열량은 24,000-30,000kcal로 계산되므로, 등유 3 liter 정도의 가치를 갖는다고 볼 수 있다.

축분퇴비를 소각하기 위해서는 농가에서 적절한 소각시설을 추가로 도입해야 하는 문제점을 갖고 있다. 또한 퇴비화한 축분을 농지에 사용하지 않고 소각하는대는 비료자원을 재활용하는 이점을 포기해야하며, 퇴비화하는 과정에서 투입된 비용 또한 고려되어야 한다. 반면에 대체에너지의 개발이라는 의의와 퇴비의 농지환원이 곤란한 지역에서 축산분뇨의 처리대안으로서 검토한다면 도입의 여지는 충분히 있다고 판단된다. 특히 소각 전에 함수비를 크게 저감시키거나 소각열을 퇴비화 공정에서 활용한다면 처리비용을 더욱 낮출 수 있고, 축산분뇨의 적정 처리와 청정 대체에너지의 개발이라는 효과를 얻을 수 있다고 사료된다.

IV. 요약 및 결론

바이오매스로서 축산분뇨와 농업부산물의 발열량을 조사하고, 축분퇴비의 소각에 대하여 검토해 보았다. 영국에서는 계분 등을 이용한 발전시설을 갖추어 가동, 전력을 생산하고 있는 실정이다. 본 고에서는 축분퇴비의 소각열이용 및 소각처리 가능성이 있다고 판단되었다. 그러나 축산분뇨를 소각하는 경우 축분이 가지는 비료로서의 자원을 이용할 수 없으며, 소각에 필요한 추가시설의 확보가 요구된다. 특히 함수비를 충분히 낮추어야 하는 문제가 있다. 축산농가에서 도입하고 있는 톱발효와 병행한 축분퇴비의 소각은 청정 대체에너지의 개발과 축산분뇨의 적정한 처리라는 효과를 기대할 수 있다. 축산분뇨의 퇴비화와 관련된 비용과 소각공정에서 추가되는 비용 및 에너지 생산효과 등을 종합적으로 고려한 추가의 연구가 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

- 김계환, 1994, 바이오에너지 개발을 위한 기초연구, 한국과학재단
- 김연식, 2000, 에너지단위 환산, <<http://www.xpert.co.kr/bin/ArticleForm?id=819&xid=kys1016&tpl=0>>(2000/8/10)
- 도갑수, 1989, 폐기물의 대체에너지 개발현황과 대책, “신·재생에너지 기술개발 및 동향에 관한 연구” 과학기술처.
- 연구개발정보센터, 2000, 바이오매스 에너지의 현상과 장래, <http://www.kordic.re.kr/~trend/Content385/science-technology09.html> (2000/8/21)
- 오대균, 1998, 신재생에너지 기술정책, <http://www.icarussolar.com/script/sc004.htm>(2000 /8/21)
- 유철호, 정민국, 1996, 가축분뇨의 자원화 촉진방안, 농촌경제, 19(3):157-175.
- 이규성, 김영식, 1998, 폐기물처리기술, 형설출판사.
- 일본농림성 축산국, 1974, 가축분뇨처리 사례집. 일본 중앙축산회
- 최홍립, 1998, 우리나라 가축분뇨의 처리기술현황, 한국농공학회지 40(2):18-28.
- CADDET, 2000, Fibrowatt Thetford poultry litter power station, <<http://194.178.172.86/register/dataare/ccr02063.htm>> (2000/8)