바이오매스 부존특성을 고려한 농촌지역 바이오에너지 보급전략

Strategic Planning for Bioenergy Considering Biomass Availability in Rural Area

홍성구^{*,†}Seong Gu Hong^{*,†}

Abstract

Unit costs for energy production in bioenergy facilities are dependent upon both fixed cost for facility construction and operational costs including biomass feedstock supply. With the increase of capacity, unit fixed cost could be decreased while supply cost tends to increase due to the longer transportation distance. It is desirable to take into account biomass availability in planning bioenergy facilities. A cumulative curve relationship was proposed to relate biomass availability and cumulative products of biomass amount and transportation distance. Optimum size of gasification facilities was affected by collection cost, biomass cumulative relationship. Based on biomass availability of Icheon-City, optimum sizes were about 400kW_{th} for gas production, and about 200kW_{el} for power generation. Unit cost of bioenergy production could be substantially reduced by reducing collection cost through supplying biomass from diverse sources including land development areas where significant amount of waste wood is generated. When planning bioenergy facilities, however, biomass availability and spatial distribution are key factors in determining the size of capacity.

Keywords : Bioenergy, Biomass availability, Unit production cost, Producer gas

I. 서 론

UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007)에 의하면 바이오매스를 동·식물 및 미생물로부터 유래한 생분해가 가능한 유기물로서, 농림 부산물과 산업 또는 도시 폐기물 중 화석물질로부터 유래되지 않는 생분해가 가능한

물질로 정의하고 있다. 여기에는 분해과정에서 얻어지는 가스 및 액상 물질도 바이오매스에 포함된다. 바이오에너지는 이와 같은 바이오매스로부터 각종 변환공정을 통해 얻어지는 전기, 열, 증기, 연료 등을 말한다. 바이오에너지 생산을 위한 변환공정에는 직접연소나 가스화, 열분해 등과 같은 열화학적 공정, 혐기성소화 또는 발효와 같은 생물화학적 방법 등 다양한 공정이 있다.

바이오매스는 화석연료와 달리 중등 등 특정 국가에 집중되어 있지 않기 때문에 많은 국가에서 활용 가능성을 높게 평가하고 있으며, 실제로 저개발국가에서는 주요 1차 에너지원으로 이용하고 있는 실정이다. 2002년 지속가능한 개발을 위한 세계 정상회

* 한경대학교 지역자원시스템공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-31-670-5134

Fax: +82-31-674-4119

E-mail address: bb9@hknu.ac.kr

2008년 4월 30일 투고

2008년 7월 15일 심사완료

2008년 7월 21일 게재확정

의(WSSD)에서 결성된 유엔에너지기구(UN-Energy)는 최근 바이오에너지 보급과 관련된 내용의 보고서를 배포한 바 있다(UN-Energy, 2007). 이 보고서에서는 바이오에너지의 보급을 확대해 나아가는데 있어서 반드시 고려하여야 할 지속가능성에 대해 강조하고 있다. 바이오에너지 보급은 에너지 및 지구환경 문제를 해결하기 위한 대안의 하나이며, 바이오에너지 보급을 계획할 때에 농업부문의 영향과 구조변화, 농산업 개발 및 고용, 그리고 식량보급 등에 대해 충분히 논의되어야 함을 강조하고 있다. 바이오에너지의 보급은 식량생산과 경쟁관계에 있으며, 특히 에너지작물 생산을 위해서는 물, 토지, 기타 자원에 대한 추가적인 수요가 발생하기 때문이다(Hong, 2007). UN-Energy 보고서에 의하면 바이오에너지의 보급 양상에 있어서 단기적으로는 바이오디젤과 에탄올, 그리고 바이오가스 등이 주도하게 될 것이며, 장기적으로는 목질계 바이오매스로부터의 에탄올 생산 및 바이오오일의 생산과 이용이 가능할 것으로 전망하고 있다.

국내에서도 지속가능한 개발, 지구온난화 방지를 위한 온실가스 감축과 에너지 및 환경문제의 해결을 위해서는 바이오에너지를 포함한 재생에너지의 도입이 매우 중요하다는 것을 인식하게 되었다. 신재생에너지 보급확대를 위해 발전자액 보조가 본격적으로 이루어졌으며, 바이오에너지 분야에서는 바이오디젤이 상용화되었고, 바이오가스 시설 설치 사례가 증가하고 있다. 그럼에도 불구하고 농촌지역에 산재해 있는 미활용 바이오매스에 의한 바이오에너지의 이용도는 높지 않은 것이 사실이다. 산림에서 발생하는 목질계 바이오매스뿐만 아니라 농경지에서 방치되거나 소각되는 농업부산물 바이오매스는 농촌지역에서 가용한 유효한 자원이므로, 이를 활용하기 위한 계획을 수립하여야 한다.

바이오에너지의 단위생산비를 낮추기 위해서는 규모의 경제에 따라 시설규모가 충분히 커야한다. 그러나 바이오매스 공급비용이 단위 생산비에 영향을 미치므로 일정 거리 내에서 충분한 양의 바이오매스를 공급할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 농촌지역에서 가용한 바이오매스의 부존특성과 변환공정 중 가스

화(Gasification)공정을 중심으로 바이오에너지 보급 방향을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 바이오매스 자원의 부존특성을 정리하고, 이를 근거로 도입 가능한 가스화시설의 규모에 따른 에너지 단위생산비를 분석하여 바이오에너지 보급방향을 제시하였다.

II. 농촌지역 바이오매스 부존특성

바이오에너지 보급계획에 있어서 고려해야 할 바이오매스 부존특성은 부존자원의 양, 이화학적 특성, 시공간적 발생 분포, 그리고 바이오에너지 활용 여건 등이다. 설비의 규모와 변환공정의 종류, 바이오매스 공급 계획을 수립할 때 이들 자료를 기초로 한다. 이들 요인들에 대해 충분히 조사하고 분석하여 대상 지역의 여건에 적합하고 효과적인 바이오에너지 시설을 추진하여야 한다.

1. 부존량

농촌지역에서 활용이 가능한 대표적인 바이오매스는 농업부산물, 축산분뇨, 생활폐기물계 바이오매스 등이 있다. 부존량은 축산농가, 토지이용도와 작물별 부산물 발생량 등의 기초자료를 활용하여 산정할 수 있다. 지리정보시스템(GIS)에 구축된 토지이용도를 이용하여 농업부산물 발생량은 쉽게 계산할 수 있다. 계획수립에 활용이 가능한 바이오매스 자원은 축산분뇨, 음식물쓰레기, 간벌목, 과수 전지목, 전답 부산물 등으로 구성된다. 부존량을 조사하거나 평가할 때 해당 바이오매스에 대한 기존 수요에 대한 검토 또한 필요하다. 예를 들어 국내에서 발생량이 가장 많은 종류로서 벼짚과 왕겨는 많은 지역에서 대부분이 축산농가와 일반산업체에서 소비되고 있다. 이러한 바이오매스는 수요의 경합으로 공급비용이 높아질 수 있다.

2. 이화학적 특성

바이오매스의 이화학적 특성에는 함수비, 발열량, 발생 성상, 화학적 조성 등이 있다. 축산분뇨나 음식물폐기물과 같이 함수비가 높은 유기성폐기물은 열

화학적 공정보다는 혐기성소화공정이, 목질계 바이오매스는 생물학적 공정보다 열화학적 공정이 유리하다. 기타 목질계 바이오매스 또한 회분 등 화학적 조성에 따라서 열화학적 공정을 달리하거나 추가의 전처리공정이 계획되어야 한다. 현실적으로 도입이 가능한 변환공정 시설이 제한되어 있으므로, 보다 간편하게는 혐기성 소화를 위한 유기성폐기물계와 가스화를 위한 목질계 바이오매스의 2가지로 나누어 분류하는 것도 가능하다.

본 연구에서는 에너지생산을 위한 변환공정만을 고려하고 있으나 바이오매스 활용에 대한 종합적인 검토를 수행할 때에는 대체 이용방안에 대해서도 조사하여야 한다. 예를 들어 보일러나 가스화설비에 이용이 가능한 목질계 바이오매스는 축산분뇨 퇴비화를 위한 수분조절재나 기타 자재로 이용되고 있으므로 경합될 가능성이 있다. 기존 수요처나 분야와 갈등관계를 유발하지 않기 위해서는 상호 보완을 통해 자원을 효과적으로 이용하여야 한다.

3. 시공간적 분포 및 수집여건

바이오매스는 태양에너지가 동식물에 의해 변환되어 축적된 화학적 에너지이다. 따라서 활용이 가능한 바이오매스는 시공간적으로 편중되어 발생한다. 농업 부산물이나 간벌목은 주로 가을이나 초겨울에 대량으로 발생하며, 축산분뇨나 생활계 유기성폐기물은 일정 지역에 집중되어 발생하는 특징을 나타낸다. 과수원 간벌목은 주로 늦가을이나 연초에 집중적으로 발생한다(Hong, 2004). 이러한 시공간적 분포는 바이오매스 공급계획을 수립하고 시설의 위치를 결정하는데 중요하다. 지리정보시스템(GIS)과 같은 도구를 이용하면 토지이용도를 활용하여 일정 지역 내에서 가용한 바이오매스 자원을 쉽게 추정할 수 있다. 이를 위해서는 토지이용별 바이오매스 발생량에 대한 자료가 제공되어야 한다. 분석 대상지역에 산재해 있는 바이오매스를 변환시설까지 공급하는데 소요되는 비용의 추정이나 공급계획의 수립은 역시 GIS 내에서 네트워크 분석기법 등을 이용할 수 있다.

III. 바이오에너지 시설 보급전략

1. 시설의 규모

일반적인 생산설비와 마찬가지로 바이오매스 활용 설비 역시 규모의 경제 법칙이 그대로 적용되므로, 해당 지역의 바이오매스 가용자원을 최대한 이용할 수 있도록 계획되어야 한다. Fig. 1은 바이오가스 시설에서 생산되는 연간 전력(kWh)과 전력생산 단가(KRW/kWh)와의 일반적인 관계를 보여주고 있다(Walla and Schneeberger, 2007). Fig. 1에서 시설의 규모는 300kW, 시설비는 3억원으로 하고, 규모계수는 0.6으로 했을 때의 관계이다. 시설의 종류에 따라서 기준 규모와 비용은 다를지라도 바이오매스 가스화 시설 또한 유사한 관계를 가진다(Wu et al., 2002). 그러나 바이오매스 활용시설의 규모를 결정할 때 바이오매스 공급 가능량 또한 고려하여야 한다. 해당 지역의 바이오매스 부존량이 충분치 않음에도 불구하고 시설규모가 과다할 때에는 운송비가 증가하여 바이오에너지 생산단가가 상승하게 되기 때문이다. 따라서 바이오에너지 설비는 시설비와 바이오매스 공급단가를 고려하여 최적의 규모로 계획되어야 한다.

바이오매스 공급 비용을 제외한 시설비용은 일반적으로 다음의 관계를 가진다(Jenkins, 1997).

Fig. 1 General relationship between unit power generation cost and facility scale

$$\frac{C}{C_o} = \left(\frac{M}{M_o} \right)^s \quad (1)$$

여기에서 C 는 시설의 설치비용, M 은 시설의 규모(kW), s 는 무차원 수로서 규모와 관계되는 계수(scale factor)이다. 첨자 o 는 기 설치 혹은 기준 설비를 나타낸다. 따라서 단위 비용($K=C/M$)은 다음과 같다.

$$\frac{K}{K_o} = \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1} \quad (2)$$

s 는 일반적으로 0.6에서 0.8의 범위를 가진다.

2. 바이오매스 부존량 및 공급비용

바이오매스 공급비용은 바이오매스의 수집, 운반, 전처리의 3가지 공정 비용으로 나눌 수 있다. 수집은 발생지로부터 운반 차량으로 적재할 때까지, 운반은 적재 후 에너지 변환시설까지 수송하는 공정이며, 전처리는 협잡물의 제거나 혼합 또는 해당 변환공정에 맞게 파쇄하는 공정을 포함한다. 숲가꾸기 부산물의 수집비용은 톤당 5만 여원 수준이나 개발부산물 목질계 바이오매스나 폐목재는 무상 혹은 처리비용을 오히려 받을 수 있다(Boo, 2007). 과수원에서 발생하는 목질계 바이오매스 수집에는 인력으로 할 때 10a당 20man-hr까지 소요될 수 있다(Hong & Hong, 2005).

목질계 바이오매스를 이용하는데 필요한 주요 전처리공정에는 파쇄나 건조작업이 요구된다. 개발 부산물과 같이 다량의 토사가 포함될 때에는 이를 제거하기 위한 전처리가 필요하다. KEEI(2007)에서는 우드칩으로 파쇄할 때 톤당 약 8,000원이 소요되는 것으로 제시하였다.

운송비용은 톤당 단위 거리당 비용을 알면 운반 거리에 따라 계산이 가능하다. KEEI(2007)는 목재 운반단가를 273원/ton · km로 제시하였다. 이 수치는 유류비와 해당 바이오매스의 단위체적당 중량, 수거-운반 계통의 적정성에 따라 영향을 받는다. 바이오매스 단위 중량당 운반비용은 운반단가에 운반거리를 고려하여 얻어지므로 변환시설로부터 일정거리 이내의 바이오매스를 이용하는 계획을 수립하여야 한다. Fig. 2는 거리에 따른 바이오매스 가용량 자료를

Fig. 2 Relationship between cumulative biomass availability and distance

근거로 작성한 누가 곡선관계도이다. 변환설비의 용량에 따라 결정되는 바이오매스 요구량이 결정되면 해당 지역에 대해 작성된 누가곡선식을 이용하여 가용량과 거리의 곱을 쉽게 얻을 수 있다. 이 수치를 이용하여 단위 중량 및 거리당 운송비용을 곱하여 바이오매스 운송비를 계산할 수 있다.

IV. 사례지역 적용 및 분석

1. 대상 지역

바이오매스 가스화시설에 대해 도입 여건을 분석하기 위하여 경기도 이천시를 대상 지역으로 선정하였다. 2006년 현재 이천시 총면적은 461.25km²이고 이 가운데 임야가 가장 많은 182.25km², 과수원 1.80km², 밭이 73.38km²를 차지한다(Icheon, 2008). 바이오매스 부존량은 토지이용별 단위면적당 바이오매스 부존량을 이용하여 산정하였다. 밭에 대한 단위면적당 바이오매스 부존량은 Hong & Hong(2005)의 자료를 산림 바이오매스는 Boo(2007)의 자료를 근거로 정하였다. 바이오매스 부존량 전량이 이용되지 못하므로 밭작물과 과수원 전지목 바이오매스는 각각 10%만이, 산지의 부존량은 간벌 주기 등을 고려하여 1%만이 활용 가능한 것으로 가정하였다. 가스화 또는 바이오에너지 시설로부터의 거리에 따른 부존량 분포를 파악하기 위하여 누가 바이오매스 가용량 대비 바이오매스 가용량과 거리의 곱의 관계를 나타내면 Fig. 2와 유사한 곡선을 얻는다. 시설 규모에

따라 연간 바이오매스 수요량을 계산하고, 이에 대응하는 바이오매스 운송단위를 산정할 수 있다. 운송단위는 해당 지역의 바이오매스량의 공간적 분포에 따라 결정된다. 본 연구에서 단위면적당 바이오매스 가용량은 비교적 적은 값을 취하여 과수원 400ton/km², 밭 200 ton/km², 임야에서는 400ton/km²로 하였다.

2. 시설 및 분석 조건

대상지역의 바이오매스 가용 여건과 가스화 시설의 운영에 따른 에너지 생산비용 분석하기 위해서는 바이오에너지 시설에 대한 제원 및 관련 자료가 요구된다. 생산비용은 고정비용과 바이오매스 공급 비용의 2가지로 구분하였으며 이와 관련된 수치와 조건은 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Parameters used in cost analysis of gasifier system

Parameters	Values	Comments
Interest rate	5%	
Scale factor	0.6	
Life time of facility	15 years	
Efficiency-electricity	20%	Based on feedstock
Efficiency-cold gas	70%	Based on feedstock
Yearly operation time	60%	
Unit of weight of biomass	250kg/m ³	
Unit cost of transportation	273KRW	KEEI(2007)
Heating value of biomass	2700kcal/kg	Lower heating value

시설비의 연간비용을 산정하는데 물가상승률은 고려하지 않았으며, 연간 유지비는 연간 시설비용의 10%라고 가정하여 포함시켰다. 용량에 따른 시설비용을 산정하는데 필요한 기준치는 가스엔진 단독으로 운전하는 조건으로 남아프리카 공화국의 Carbo Consult사의 견적가격을 이용하였다(Eckermann, 2006). 에너지 생산비용에 대한 분석은 합성가스 생산비용과 전력생산 비용의 두 가지에 대해 수행하였다. 합성가스 생산비 분석에서는 발전설비를 제외하였다. 시설비에 대한 연간비용은 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$C_y = F \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

여기에서 C_y 는 시설비의 연간비용, n 는 내구년수, F 는 초기 시설비 i 는 이자율을 나타낸다.

3. 결과 및 분석

KEEI(2007)에서는 바이오매스 운송비용이 50km 기준 273원/ton/km, 수집비용은 대상 바이오매스에 따라 크게 차이가 있지만 산림 바이오매스 기준 약 50,000원/ton으로 제시하였다. 개발 부산물 바이오매스 등은 처리비 수입이 발생하므로 지역에 따라서는 수집비용이 크게 낮아질 수도 있다.

본 연구에서는 가스화를 위한 바이오매스 전처리 공정으로서 우드칩 생산 비용은 수집비용에 포함되

(a) Producer gas

(b) Electricity

Fig. 3 Unit production cost of producer gas and power

는 것으로 가정하였다. 이러한 조건에서 Table 1에 제시된 수치를 이용하여 가스화설비 용량에 따른 에너지 생산비용은 Fig. 3에 제시하였다. Fig. 3(a)는 합성가스의 생산단가, (b)는 전력생산 단가를 보여주고 있다.

합성가스만을 생산할 때 약 $400\text{kW}_{\text{heat}}$ 규모에서 가장 낮은 $34\text{원/kW}_{\text{heat}}$ 로 나타났다. 열량만을 기준으로 비교할 때 농업용 면세유가 2008년 현재 800원대 수준이므로(Park, 2008) 바이오매스를 이용한 합성가스 생산은 석유류와 경쟁력을 가진다. 단지 합성가스를 엔진과 같은 상용 설비에서 사용하기 위해서는 타르나 분진제거를 위한 공정이 추가로 요구된다.

반면에 전력생산단가는 발전설비의 추가 비용과 운송비용이 운송량의 제곱에 비례하기 때문에 크게 증가하여 kWh_e 당 생산단가는 200kW 발전설비 기준 약 140여원으로 나타났다. 현재 바이오매스를 이용하여 전력을 생산할 때 발전차액은 68.99원/kWh 이다. 전력만을 고려한다면 가스화-발전설비는 경제성을 갖지 못한다고 볼 수 있다. 그러나 시설 주변에서 열 수요가 있고 이에 대한 판매가 이루어진다면 도입여건이 개선될 수 있다.

바이오매스 수집비용은 활용대상 바이오매스의 종류에 따라서 크게 다르고 에너지 생산단가에 영향을 미친다. Fig. 4에서는 수집비용에 따라서 합성가스 생산단가의 변화를 나타내고 있다. 톤당 수집비용이 50,000원에서 10,000원으로 80% 낮아지면, 생산단가는 약 60% 가량 낮아짐을 알 수 있다.

운송비용은 대상지역 내 바이오매스의 분포에 따

Fig. 4 Unit production cost of producer gas for different collection costs

라 결정된다. 이천지역 내 바이오매스 가용량이 앞에서 가정된 수치에 비해 증가하는 경우 누가 바이오매스 가용량 대비 누가 바이오매스-거리 곡선은 Fig. 5와 같다. 즉, 단위면적당 바이오매스 가용량이 증가하면 운송비용은 크게 낮아질 수 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 바이오매스 부존량이 적을 때에는 동일한 용량의 가스화시설의 전력생산단가는 높아지고 최적의 시설용량은 줄어든다. 반면에 부존량이 증가함에 따라 전력생산단가는 감소하며 규모가 보다 큰 시설이 가능하게 된다. 시설의 용량은 바이오매스 부존량을 충분히 고려하여 결정하여야 함을 확인할 수 있다. 특히 바이오매스 가용량이 충분히 많으면 시설 규모에 따른 전력생산단가 곡선은 더욱 완만하게 되므로 대규모의 시설이 가능함을 알 수 있다.

바이오매스 부존량 또는 가용량을 이용하여 대상지역의 고유 특성에 따라서 바이오에너지 시설의 최적 규모가 결정되면, 해당규모의 시설비와 수집비용이 낮

Fig. 5 Cumulative curves for different biomass availability

Fig. 6 Changes in unit power costs for different biomass availability

은 곳에서 바이오매스를 공급받을 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 시설비는 기술개발이나 연간 가동률을 높임으로 저감이 가능하다. 반면에 바이오매스 수집비용은 다양한 공급원을 이용하여 낮출 수 있는 여지가 있다. 특히 개발지역에서 발생하는 나무 폐재 등은 오히려 처리비를 받을 수 있으므로 수익이 발생할 수 있다. 다양한 미활용 바이오매스를 발굴하면 바이오에너지 생산단가를 크게 줄일 수 있는 여지가 있다고 판단된다.

V. 요약 및 결론

바이오에너지 시설을 보급하는데 있어서 바이오매스 부존특성을 충분히 고려하여야 한다. 바이오매스 부존특성은 부존량 또는 가용량의 공간적 분포와 이화학적 특성 등이 포함된다. 본 연구에서는 바이오매스의 공간적 분포를 누가 가용량에 따른 가용량과 운송거리의 곱의 누가치의 관계로 나타내었으며, 사례 지역에서 시설비와 바이오매스 공급비용에 대해, 바이오에너지 생산단가를 분석하여 바이오에너지 보급방안을 제시하였다.

경기도 이천시 토지이용별 단위면적당 바이오매스 발생량을 근거로 평가한 결과, 바이오에너지 시설의 규모는 바이오매스 가용량의 공간적 분포에 영향을 받을 수 있었다. 가용량이 증가함에 따라서 시설의 적정용량은 증가하며 바이오에너지 생산단가 또한 감소하였다. 바이오매스 가용량이 제한된 지역에서는 시설의 규모를 과다하게 계획하지 않도록 하여야 한다. 주어진 용량의 시설에서 바이오에너지 생산단가를 낮추기 위해서는 시설비와 바이오매스 수집비용을 낮추어야 한다. 시설비는 기술개발이나 연간 가동률을 높임으로서 낮출 수 있다. 연간 가동률은 설비의 수리, 점검 등 유지관리를 위한 시간을 최소화함으로써 높일 수 있다. 바이오매스 공급비용은 개발지역에서 생산되거나 조정부산물 등 폐기처분되어야 하는 바이오매스를 활용함으로써 저감할 수 있다.

바이오에너지의 활용여건 또한 중요한 요인으로 판단된다. 가스화시설에 있어서 전력을 생산하는 경우

에 비해 합성가스를 생산하여 이용하는 경우 생산단가 측면에서 유리하게 나타났다. 합성가스의 단위 생산비는 2008년 현재 면세유와도 경쟁력이 있는 것으로 나타났다. 전력생산의 경우에도 열회수설비를 갖추어 열병합시설로 활용하게 되면 총괄 열효율이 향상되어 보급여건이 개선될 것이다. 반면에 합성가스를 이용할 때에 가스 정제설비를 갖추는 경우 시설비가 다소 증가할 수는 있을 것이다.

본 연구에서 수행된 분석조건 하에서 농촌지역의 바이오에너지 보급은 1) 대상지역에 대한 바이오매스 누가 가용량 관계의 정립, 2) 바이오에너지 활용 유형의 결정 : 가스 직접이용 또는 전력생산, 3) 바이오에너지 변환시설의 최적 용량 결정, 4) 수집비용을 고려한 바이오매스 공급계획 수립 등의 단계로 추진되는 것이 권장된다.

본 연구는 2007년도 한경대학교 교비 해외파견 연구비의 지원에 의한 것임

References

1. Beddoes, J. C., K. S. Bracmort, R. T. Burns & W. F. Lazarus, 2007, An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities, Technical Report 1, USDA-NRCS.
2. Boo, Kyongjin, 2007, A Study on the Energy Utilization of Lignieous Biomass. MOCIE (Ministry of Commerce, Industry, and Energy) (in Korean)
3. Eckermann, G., 2006, Bioenergy Lists. http://gasifiers.bioenergylists.org/carboconsult_price_tar
4. UNFCCC, 2007, United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int>
5. Hong, Seonggu., 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), pp.85-92. (in Korean)
6. Hong, Seonggu & J. Hong, 2005, Production and Effective Use of Fuel Gas from Agricultural Biomass. Ministry of Agriculture and Forestry, pp. 110.
7. Hong, Seonggu, 2007, Strategic Planning for Biomass Uses. *Rural and Environmental Engineering Journal*, Korea Rural Community and Agriculture Corporation, 96, pp.15-32. (in Korean)
8. Huber, G. W., S. Iborra, & A. Corma, 2006, "Synthesis of Transportation Fuels from Biomass : Chemistry, Catalysts, and Engineering." *Chemical Reviews* 106(9), pp.4044-4098.
9. Icheon City, 2008, The 47th Annual Statistical Report (<http://www.icheon.gyeonggi.kr>)
10. Jenkins, B. M., 1997, A Comment on the optimal sizing of a biomass utilization facility under constant and variable cost scaling. *Biomass and Bioenergy* 13(1/2), pp.1-9.
11. Park, Wonwoo, 2008, Surge in tax-free oils for farmers, *Jonnam Daily News* <http://www.jndn.com>.
12. UN-Energy, 2007, Sustainable Bioenergy : A Framework for Decision Makers. United Nations.
13. Walla, C. & W. Schneeberger, 2007, The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy* doi:10.1016/j.biombioe 2007.11. 009 (in press)
14. Wu, C. Z., H. Huang, S. P. Zheng, & X. L. Yin, 2002, An Economic analysis of biomass gasification and power generation in China. *Bioresource Technology* 83(1), pp.65-70.