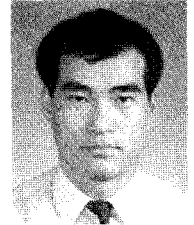


생물자원의 효율적 이용과 개발을 위한 농공학(지역건설공학전공)



홍 성 구

한경대학교 지역자원시스템공학과

1. 서 언

대학에서 학과의 명칭이 지역건설공학, 지역(자원)시스템공학 등 다양하게 바뀌었음에도 불구하고 농공학은 본질적으로 거의 동일한 교과과정을 가진다. 농공학은 안정적이고 효율적인 농업생산의 전제조건인 생산기반조성에 필요한 기술을 제공하는 학문분야이다. 농업생산을 위한 수자원의 개발과 확보, 용수공급과 농지 개발 및 보전으로부터, 농업시설과 농촌생활환경에 관련된 영역으로도 확대되었다. 그러나 지속적으로 안정적인 주곡의 생산이 가능해지고 환경에 대한 관심이 고조되면서 농공학의 사회적 인식은 점진적으로 낮아지게 되었다. 따라서 국가차원에서의 예산 배정 및 사업 계획에 있어서 우선 순위가 낮아지고 결국 전체 산업에 대한 기여도 또한 위축되어왔다. 이를 극복하기 위하여 어메니티 자원의 개발 및 농촌관광 등 관련된 영역확대를 위한 노력은 주목할 만하다. 농촌지역의 사회경제적 위상을 확보하고 제고하기 위한 방안으로서 지속적인 관심을 가져야 할 것이다.

최근에는 유가 상승과 온실가스 감축과 관련하여 바이오에너지에 대한 관심이 급격하게 고조되고 있다. 바이오에너지에 대한 관심이 높은 이유는 고유가에 대한 대응 뿐 아니라 환경개선, 농가소득증대, 에너지 안보강화 등 다양한 효과를 기대할 수 있기 때문이다(Kang and Chung, 2007). 바이오에너지는 생물계 유래 바이오매스를 이용하

여 각종 변환기술을 통해서 얻을 수 있는 에너지이다. 국내에서 본격적으로 보급되기 시작한 바이오디젤이 대표적인 예이다. 화석연료와는 달리 온실가스를 배출하지 않기 때문에 태양, 풍력, 수력 등의 재생에너지와 함께 가장 중요한 재생에너지원 중의 하나이다. 바이오 연료 생산을 위한 전용작물 뿐만 아니라 농업생산과정에서 발생하는 각종 부산물을 이용하여 바이오에너지의 생산이 가능하다.

다른 재생에너지와는 달리 바이오에너지는 그 생산을 위해서 원료가 지속적으로 공급되어야 한다. 예를 들어 태양광발전설비는 셀과 생산된 전기의 저장 및 송전이나 이용설비가 갖추어지면 유지관리가 거의 필요치 않다. 반면에 바이오에너지 설비의 가동을 위해서는 원료가 되는 바이오매스를 지속적으로 수집하고 전처리공정을 요구하며, 변환공정에서 발생하는 부산물을 처분하여야 한다. 따라서 바이오에너지 공정의 특성상 그 시설은 농촌지역에 배치되는 것이 바람직하며, 발생하는 부산물을 농지에 환원하는 등의 처분과정은 농업의 지속가능성을 고려하여 이루어져야 한다.

앞으로의 농업생산기반시설은 바이오에너지와 관련된 바이오매스의 활용과 관련된 시설도 포함하여야 할 것이다. 에너지 작물을 생산하기 위해서는 용수공급과 토양보전과 관련된 전통적인 농공학적인 기술이 그대로 요구된다. 바이오에너지 생산 공정에서 발생하는 부산물은 주로 무기물로서 이를 토양에 환원하기 위해서는 토양에 대한 이해

가 필요하다.

본 고에서는 생물자원으로서 바이오매스를 효율적으로 이용하고 개발하는데 있어서 바이오매스/바이오에너지 변환공정과 농공학/지역건설공학의 역할과 에 대해 살펴보고자 한다. 농공분야에 있어서 전공분야의 개편이나 연구 및 사업영역을 구상하는데 필요한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 온실가스 배출량감축 논의와 바이오에너지

지난 2007년 2월 20일 유럽연합 27개 회원국은 벨기에 브뤼셀에서 열린 환경장관 회의에서 지구 온난화를 막기 위해 2020년까지 온실가스 배출량을 교토의정서 기준연도인 1990년에 비해 최소 20% 감축하기로 합의한 바 있다(매일경제, 2007). 이 합의에서는 미국 등 교토의정서에 불참하고 있는 선진국이 참여한다면 30%로 확대하는 것으로 되어 있다. 정부차원에서 교토의정서에 참여치 않고 있음에도 불구하고 미국내 다수의 기업은 이에 대한 준비 또는 대응을 하고 있는 추세이다. 교토의정서는 1997년 12월에 채택된 것으로서 유럽연합과 일본 등의 주요 선진국이 온실가스 배출량을 2012년까지는 1990년 대비 5.2% 감축하여야 함을 규정하고 있다.

지구온난화의 직접적인 원인으로 온실가스는 화석연료의 연소에 의한 이산화탄소가 대표적이다. 온실가스 배출량 저감을 위해서는 재생에너지의 이용이 반드시 요구된다. 바이오에너지의 경우 CO₂를 배출하게 되나 광합성 작용에 의해서 흡수된 CO₂가 다시 배출되는 것이므로 배출 기여도는 없다. 바이오에너지는 특정지역에 집중되어 분포하는 화석연료와는 달리 지구 표면에 널리 분포하고 있다. 적절한 변환공정을 통해서 단위체적당 혹은 단위중량당 열량으로서 에너지 밀도를 충분히 높여 에너지로서의 활용성을 높일 수 있다. 이와같은 여러 가지 장점으로 인해 재생에너지의 종류 가운데 도입 가능성이 가장 높은 것으로 인정되고 있다.

우리나라에서도 2006년 7월부터 정유회사에서 바이오디젤을 일정비율 혼합하여 판매하기 시작하였다. 국내에서 이용되는 바이오디젤은 해외로부터 수입된 원료를 이용하여 생산된 것으로서 국가 경제에 대한 기여도는 상대적으로 낮은 것으로 평가된다. 한편 교토의정서의 1차 이행기

간이 종료되는 2012년 이후에는 온실가스 배출량이 매우 높은 우리나라도 감축 의무를 질 것이 유력하다. 이러한 배경에서 추진되는 바이오에너지 관련 분야의 육성은 농업 및 농촌의 경쟁력을 강화하는데 긍정적인 영향을 미칠 것이다. 예를 들어 바이오에너지 생산 및 이용을 통해 온실가스 배출량 저감을 공식적으로 인정받는다면 다량의 에너지를 소비하는 전력이나 철강 등의 대규모 기업으로부터 배출권을 판매하는 등의 새로운 개념의 수익창출이 가능하다.

3. 바이오매스와 바이오에너지

가. 농촌지역 바이오매스

농촌지역 바이오매스는 바이오에너지 생산을 목적으로 재배되는 에너지작물, 농업 부산물, 산림 부산물, 축산분뇨, 조경 부산물, 그리고 생활계 유기성폐기물 등이 있다. 국내에서는 유채가 대표적인 에너지작물이라 할 수 있으나, 해외에서는 옥수수, 사탕수수 등 전분 혹은 당류 작물을 에탄올 생산 목적으로 재배하는 경우 에너지작물로 분류할 수 있다. 말레이시아나 인도네시아와 같은 국가에서는 팜유 생산을 위해 대규모로 팜 나무를 재배하고 있다. 에너지 작물 이외에는 대부분 부산물 혹은 폐기물계 바이오매스를 이용하여 에너지를 얻을 수 있다. 이 가운데 산림 부산물과 과수나 조경수 전지목은 목질계로서 단위 중량당 열량이 상대적으로 높으며 활용가치가 매우 높다. 반면에 벗짚이나 왕겨, 쌀작물의 부산물은 단위 중량당 열량이 높은 편에 속하나 규소 등을 포함한 회분의 함량이 높아 변환 과정에서 이를 고려하여야 한다.

유기성폐기물로서 축산분뇨와 음식물쓰레기 등은 바이오가스 생산을 위한 혐기성 소화공정을 통해 처리할 수 있다. 하수처리장에서 적용되어왔던 슬러지의 혐기성 소화공정과 거의 같다. 농촌지역에서 축산분뇨와 음식물쓰레기 등은 폐기물로서 어떠한 방법에 의해서든 처리 및 처분되어야 할 대상이다. 여기에서 혐기성소화공정을 도입하면 바이오가스를 이용할 수 있고 호기성 퇴비화공정을 적용한다면 유기질 퇴비를 얻게 된다.

나. 변환공정과 바이오에너지

에너지생산을 위한 바이오매스 변환공정은 생물학적 공정과 열화학적 공정으로 구분할 수 있다. 생물학적 공정은

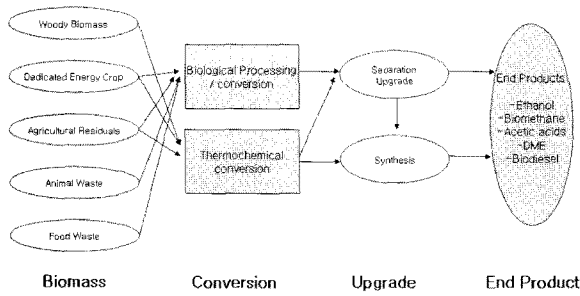


그림 1 Biomass types, conversion processes, and end products

미생물을 이용하여 에탄올이나 바이오가스를 생산하는 종류이다. 열화학적 공정에서는 높은 온도 조건에서 기체 또는 액체 연료를 얻을 수 있다. 함수비가 높은 바이오매스를 대상으로 하는 Hydrothermal 공정에서는 400 °C 내외의 온도에서 액상 연료를 얻을 수 있다. 적합한 변환공정은 바이오매스의 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 특히 함수비는 가장 중요한 변수 중의 하나이다. 그림 1에는 바이오매스 종류, 변환공정, 중간 공정 산물의 처리, 그리고 최종 생산물을 나타내고 있다.

1) 에탄올

에탄올 생산은 주류생산과 동일한 공정으로 미생물과 전분계 바이오매스를 발효하는 공정이다. 사탕수수를 이용하여 세계 최대의 에탄올 생산능력을 가지는 브라질에서는 이미 가솔린과 혼합한 자동차 연료가 이미 보급되어 이용되고 있다. 전분계 바이오매스는 식량으로 이용될 수 있으므로 논의의 여지가 남아 있다. 최근에는 목질계 바이오매스를 처리하여 에탄올을 생산하는 기술이 지속적으로 개발되고 있고, 일부 제한적으로나마 상용화된 기술이 있다.

2) 혐기성소화공정 - 바이오가스

축산분뇨와 음식물쓰레기와 같이 함수비가 높은 비목질계 바이오매스는 주로 혐기성 소화공정을 통해 바이오가스를 얻을 수 있다. 여기에서 중요한 것은 혐기성소화공정에 있어서 바이오가스의 생산은 부수적인 공정이라는 것이다. 유기성폐기물은 여러 가지 공정을 통해서 처리가 가능하다. 즉, 혐기성 처리공정이 처리대상 폐기물에 적합하여야 하고, 처리후 소화액을 경제적으로 처분할 수 있는 경우에 도입이 가능하다. 에너지 생산만을 목표로 하는 경우, 혐기성소화공정의 도입은 성공 가능성이 매우 낮다.

혐기성소화조에서 발생하는 바이오가스의 조성은 대체로 메탄 60%, 이산화탄소 40% 내외이다. 바이오가스의 이용 방법이나 설비에 따라서 바이오가스는 분리 혹은 정제과정을 거쳐야 한다. 일반적으로 정제는 고순도의 메탄을 얻기 위해 적용되는 공정이다. 바이오가스 중에는 황화수소가 약간 포함되어 있다. 황화수소를 제거하지 않으면 각종 설비의 부식 뿐만 아니라 배기가스 중에 주요 대기오염물질 중의 하나인 아황산가스가 포함되어 문제를 유발한다.

3) 열화학적 변환

열화학적 변환은 거의 모든 바이오매스를 대상으로 적용할 수 있다. 높은 온도에서 이루어지므로 함수비가 낮은 바이오매스를 대상으로 하는 경우 경제적이다. 열화학적 공정은 단순 소각, 가스화, 열분해 등으로 분류할 수 있다. 단순 소각은 열에너지만을 현장에서 이용하는 것이다. 가스화(Gasification)는 이론공기량보다 적은 양의 공기를 공급하여 불완전연소를 유발하여 CO와 H₂가 주 성분인 합성가스(Syngas)를 생산하는 공정이다. 반면에 가연성 가스와 액상 연료를 얻는 열분해(Pyrolysis)는 산화제로서 공기나 산소를 완전히 차단하여 이루어진다.

바이오매스 가스화공정에서 얻어지는 합성가스 중에는 타르와 분진이 포함되어 합성가스를 이용하기 위해서는 이러한 불순물을 제거하는 정제과정이 필요하다. 특히 타르는 엔진 밸브 등에 침적되어 시간이 지나면 정상적인 가스 공급이 곤란해지기 때문이다. 합성가스는 열량이 5 MJ/Nm³ 정도에 지나지 않고 공연비를 조절하여 내연기관에 공급하더라도 엔진의 출력은 정격출력의 약 60% 내외로 낮아지게 된다. 따라서 합성가스를 단독으로 이용하기 보다는 천연가스와 혼합하여 이용하거나 탄화수소계통 연료 합성을 위한 원료로 이용하는 것을 고려할 만하다.

열분해공정에서는 열의 공급이 필요하기 때문에 가연성 가스와 차르는 가열에 이용되고 열분해유(Pyrolysis oil)를 얻게 된다. 열분해유의 조성은 원유와는 달리 수분과 산이 다량 포함되어 있기 때문에 정제되어야 한다. 열분해유가 액상이므로 수송용 연료 생산을 위한 공정으로 도입이 가능하다. 열분해유의 생산량이 많은 경우 부가가치가 높은 성분을 추출한 후 나머지를 연료로 활용하는 것이 바람직하다.

4) 바이오디젤

바이오디젤은 주로 유지작물이나 팜유, 또는 동물성 폐유를 이용하여 얻어지는 알킬에스테르 혼합물이다. 경유와 비슷한 연소특성을 가지기 때문에 디젤을 대체할 수 있다. 폐식용유와 동물성 지방을 이용하여 바이오디젤을 생산하는 경우도 있다.

5) 기타 연료생산

변환공정을 통해서 얻어지는 바이오가스, 합성가스, 열분해유 등 생성물들이 연료로 이용되기 위해서는 분리, 정제, 또는 합성과정을 거쳐야 한다. 합성가스로부터 에탄올이나 DME(Dimethyl ether) 등을 생산하기 위한 연구개발이 현재 진행 중이며 이들은 수송용 연료로 활용이 가능하다. 에탄올은 가솔린의 대체용으로 DME는 바이오디젤과 함께 디젤의 대체연료로 이용할 수 있다.

6) 기타 바이오제품의 생산

각종 변환공정을 통해서 다양한 종류의 Bioproduct를 얻을 수 있으며 대표적인 제품의 종류와 특성은 표 1에 나타나있다. 이 외에 1,3-Propanediol, crop fibers, building materials, ethanol, glass aggregate, glycerin, itaconic acid, lactic acid, PHA(Polyhydroxyalkanoate) polymers 등이 있다.

표 1 Bioproducts and their production and usage (Wisconsin Biorefining Development Initiative, 2007)

Name of Bio-product	Usage	Production
Acetic (Ethanoic) acid	Used as a foodstuff, solvent and fungicide	Fermentation of 6-carbon and starches, lignocellulosic biomass
Pyrolytic bio-oil	Fuel after extracting resins and food additives	Fast pyrolysis
Digestion effluent	Fertilizer	Anaerobic digestion

다. 시설의 계획과 운영

바이오에너지 설비는 바이오매스 부존량과 공간적 분포, 생산된 연료의 이용여건 등을 고려하여 계획되어야 한다. 이 계획에는 설비의 규모와 위치, 설비의 종류 등을 포함하

여야 한다. 예를 들어 바이오매스 가스화설비를 도입한다면 공급 가능한 바이오매스량과 시기, 설비의 규모나 합성가스를 이용한 발전 또는 열병합발전 설비의 포함여부 등이 고려되어야 한다.

바이오매스를 이용하여 에너지를 생산하는 설비를 운영할 때 부산물의 활용 또한 충분히 고려하여야 한다. 혐기성 소화설비에서는 소화액이 지속적으로 발생되며, 열화학적 설비에서도 비록 적은 양이지만 주로 무기물로 구성되는 회분이 발생한다. 따라서 이러한 부산물을 농지 등에 환원하여 건전하게 활용할 수 있는 계획이 수립되어야 한다.

4. 농공학적 수용방향

바이오매스와 바이오에너지와 관련되어 농공학에서 어떻게 접근하고 담당해야 할 역할은 무엇이어야 하는가에 대해 함께 생각할 필요가 있다. 이를 위해서는 바이오매스/바이오에너지와 관련된 요소기술과 이를 통합하여 관리하는 부분을 함께 생각하여야 한다. 바이오매스 자원의 부존량 조사로부터 변환설비의 배치와 규모결정, 설치와 운영, 그리고 부산물의 지속적인 환원 및 관리 등은 단순히 바이오에너지의 생산에만 국한될 것이 아니라 생물계 자원의 건전한 순환이용에 기초하여야 한다. 바이오매스를 변환하는 장치의 설계와 가동은 기계공학 및 화학공학적인 지식을 요구되나 농공학 분야에서 충분히 수용할 수 있는 수준으로 판단된다. 실제로 혐기성소화공정의 기본적인 원리와 소화조의 설계 및 운전 등은 농공분야에서 다루어져 왔으며, 일부에서는 연구된 바 있다.

특히 바이오매스/바이오에너지 분야에 있어서 변환공정은 핵심 분야이므로 농공학에서 주도적인 연구 및 기술개발을 주도하여야 한다. 이를 타 분야에 의존하는 경우 바이오매스의 수집과 운반, 그리고 부산물의 농지환원 등 비핵심 분야만을 다루게 될 것이다. 지금까지 농공학에서 갖지 못했던 민간부문 사업이나 기업의 육성과 직접적으로 연결될 수 있기 때문에 매우 중요하다. 특히 바이오에너지 혹은 연료와 같이 유형의 제품을 생산하고 관련 시설을 보유함으로써 때문에 학문적, 사회적 정체성을 강화할 수 있다.

가. 해외 동향

최근 새롭게 등장한 Biorefinery는 다양한 바이오매스

자원을 이용하여 연료, 에너지, 화학물질 등을 복합적으로 생산하는 바이오매스 변환공정과 그 시설을 일컫는다(Biorefinery, 2007). 이 정의는 석유정제(petroleum refinery)와 유사한 개념으로 이해될 수 있다. 미국의 University of Georgia, University of California at Davis, University of Wisconsin, University of Minnesota 등 많은 대학에서는 명칭은 다르나 바이오매스의 활용 및 biorefinery와 관련된 기구를 설치하여 본격적인 연구개발, 교육, 기술지도 사업을 시행하고 있다. 특히 이들 기구가 농공학 관련 분야에서 주도적으로 조직되어 운영되고 있음은 주목할 만하다. University of Georgia에서는 Center for Biorefining and Carbon Cycling이라는 명칭으로 탄소의 순환이용에 큰 비중을 두고 있다(Das, 2006). 열화학공정에서 얻어지는 부산물을 비료 또는 토양개량제로 활용하는 연구가 탄소의 순환이용 부문에 포함되어 있다.

지구온난화에 대한 우려로 온실가스 배출량 저감을 위한 노력을 경주하는 일본과 유럽연합국가 뿐만 아니라 인도, 중국, 브라질 등 거의 대부분의 국가가 바이오에너지의 개발과 이용에 박차를 가하고 있다. 인도와 중국은 과거부터 농림 부산물 바이오매스를 가스화하여 농촌지역에서 활용해왔다. 최근에 이르러서는 온실가스 감축 논의와 더불어 상용화 및 보급이 더욱 활발해지고 있는 실정이다. 세계적으로 바이오매스/바이오에너지와 관련하여 개최되는 국제회의의 수는 많은 경우 월 3-4회 이상으로서, 국제적인 관심의 수준을 쉽게 파악할 수 있다. 다국적 정유회사 가운데 하나인 BP는 최근 미국 UC 버클리대학과 일리노이 주립대학 등으로 구성된 컨소시엄에 연구개발을 위한 투자를 시작하였다. 연간 5백만불 규모로 다년간 수행될 이 연구의 결과는 BP가 독점적으로 활용하는 것으로 알려지게 되어 이에 대한 반발도 만만치 않은 실정이다.

나. 교과과정의 보완

바이오매스/바이오에너지와 관련된 연구 및 기술개발을 위해서는 기존의 농공분야의 교과과정에 추가되어야 할 몇 가지 교과목이 있다. 예를 들어 열전달 또는 열역학, 미생물의 활용을 위한 생물공학(Biochemical engineering, Fermentation engineering), 화학반응공학 등이 있다.

화학반응공학에서 biorefinery 공정에서 핵심이 되는 분리공정이 포함되어야 할 것이다. 이와 아울러 기존의 일부 교과목은 바이오매스의 순환이용을 위하여 수정 및 보완되어야 한다. 예를 들어 농지보전 관련 교과목에서는 biorefinery 공정에서 발생하는 부산물의 순환이용을 평가할 수 있는 토양의 이화학적 내용이 추가되어야 할 것이다. 수리학과 중복 성격이 있는 유체역학은 기체흐름 및 열과 물질 전달에 대한 내용이 포함되어야 한다. 이 외에 설계과목을 통해 반응조의 설계 및 운전 등을 경험토록 한다면 시장에서 요구하는 경쟁력 있는 바이오매스/바이오에너지 기술 인력을 양성할 수 있을 것이다.

다. 시범사업의 추진

바이오매스 변환설비 가운데 이미 상용화된 것들이 있다. 변환설비를 개발하기 위한 연구를 새롭게 시작하기 보다는 이미 세계시장에 보급된 설비를 도입하여 국내 농촌 지역에 설치하는 것이 바람직하다. 예를 들어 남아프리카 공화국, 핀란드, 미국 등의 기업체에서 공급하는 바이오매스 가스화-발전설비가 그 예이다. 100~300 kW 규모의 발전이 가능한 가스화-발전 설비를 시범적으로 보급하여 보급 가능성을 진단한 후, 적절한 기준을 설정하여 보급한다면 단 기간 내에 바이오에너지 시설의 보급 및 운영이 가능하다.

5. 결 언

지구온난화에 대한 우려와 유가상승에 대한 압력은 재생에너지에 대한 관심을 높이게 되었다. 그 가운데 바이오에너지는 국내에서 개발 가능성이 가장 높은 재생에너지원으로서 농업 및 농촌지역에 긍정적인 역할을 할 것으로 판단된다. 바이오매스/바이오에너지 변환공정을 통해서 에너지 혹은 연료 뿐만 아니라 상품성이 있는 bioproduct의 생산이 가능하다. 공간적으로 분산되어 있는 바이오매스의 수집과 운반, 전처리, 변환공정 및 부산물의 순환이용 등은 농공학에서 어렵지 않게 접근할 수 있다.

바이오매스 변환공정은 다양하고 아직 해결되어야 할 기술적 과제가 많이 남아 있으며, 기계공학, 화학공학, 생물공학 등 다양한 학문분야에서 다룰 수 있는 여지가 많다. 그러나 Biorefinery 분야는 변환공정 뿐만 아니라 바이오

매스에 대한 Life cycle을 고려하여야 한다. 그러한 의미에서 바이오매스 부존량에 기초한 변환공장 시설의 계획과 설계, 시공 및 운영 등을 포함한 Biorefinery 분야는 농공학에서 접근하기 적합하다고 판단된다. 또 하나의 농업생산기반시설로서 Biorefinery 설비를 구상해 본다.

참 고 문 헌

1. 강희찬, 정문길. 2007. 한국형 바이오연료의 가능성 평가 및 시사점. Issue Paper, 삼성경제연구원.
2. 매일경제, 2007. EU 정상 온실가스 20% 감축, 재생에너지 20% 확대 <<http://www.mk.co.kr>>
3. Biorefinery.nl. 2007. (<<http://www.biorefinery.nl>>)
4. Das, K. 2006. Personal communication. University of Georgia.
5. Wisconsin Biorefining Development Initiative. 2007. <http://www.wisbiorefine.org/products.htm>