

대체에너지원으로서 국내 산림바이오매스 자원의 잠재력과 이용가능성*

차두송¹⁾ · 오재현¹⁾ · 우종춘¹⁾

Energy potential and feasibility of utilization for domestic forest biomass as an alternative resource*

Du Song Cha¹⁾, Jae Heun Oh¹⁾ and Jong Chun Woo¹⁾

요 약

본 연구에서는 대체에너지로서의 바이오매스에너지원의 정의와 특성 등을 살펴보고, 국내에서의 바이오매스 에너지원의 잠재력과 이용가능성에 대해서 검토하였다. 특히 임지잔재, 간벌재 등의 목질바이오매스는 자원량이 풍부하고, 임업·임산업의 활성화와 인공림의 간벌작업을 촉진하여 산림의 공익적 기능을 증대시킬 수 있는 에너지 자원으로서, 앞으로 지속적인 산림관리를 위한 새로운 임업의 과제가 될 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study aims to study the definition and characteristics of forest biomass as an alternative energy and to estimate the energy potential and feasibility of forest biomass utilization in domestic. Especially, significant attention is given to woody biomass such as forest residue, thinning log, etc. due to their renewable, sustainable and abundant properties. The results were summarized as follows. The utilization of these forest biomass could play an important role to activate the forest industry and increase the public benefit functions of forest, but more attention on their utilization is required and how they can be utilize more efficiently is the new task assigned to our forestry for sustainable forest management.

Keywords : forest biomass, woody biomass, forest industry, benefit functions of forest, sustainable forest management.

* 이 논문은 2004년 7월에 한국농촌경제연구원 산림정책연구실에서 발표한 「산지폐잔재의 효율적 수집 및 활용방안」의 내용을 정리·보완한 것임.

1) 강원대학교 산림과학대학 산림경영·조경학부 : Division of Forest Management and Landscape Architecture, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

서론

인간 문명의 발달과 활동의 확대에 수반하여 발생하는 각종오염물질 등은 지구환경에 매우 큰 영향을 미치고 있다. 그 중 CO₂의 무차별한 배출은 대기 중의 온실효과가스의 농도를 급속하게 상승시키고 있고, 이에 의한 지구온난화의 문제들이 국제적으로 논의되고 있다. 이런 지구온난화의 주범으로 알려지고 있는 것은 과도한 화석연료의 사용이다. 최근 이러한 화석연료의 한계성과 환경부하에 대한 심각성을 깨닫고 세계 각국에서는 화석연료의 사용을 절감하기 위해서 화석연료를 대체할 수 있는 대체에너지 개발에 많은 투자와 관심을 보이고 있다. 이러한 관점에서 에너지의 이용은 단순히 우리가 필요로 하는 에너지원을 얻는데 그치는 것이 아니라 어떻게 하면 계속적으로 지구환경에 부담을 주지 않으면서 이용할 수 있을가에 대한 문제로 접근을 해야 할 것이다. 즉 에너지 사용체계를 어떻게 순환적으로 사용할 수 있는 사회시스템을 구축할 것인가와 자원순환형 대체에너지를 적극적으로 활용할 수 있을 것인가에 대한 문제일 것이다.

2000년 현재 국내 에너지 소비규모는 192백만 TOE로서 세계 총에너지의 2.2%를 소비하여 세계 10위권을 유지하고 있으며, 이중 석유의 소비규모는 2,200천 B.D로 29%를 차지하여 세계 6위를 차지하고 있다. 세계에너지 자원중 석유가 차지하는 비중은 35.3% 인데 반해, 우리나라는 전체 에너지 소비량에서 석유의 비중이 49.3%를

차지하여 석유의존도가 매우 높은 편이다(표 1).

국내에 본격적인 산업화가 시작되기 전인 1970년을 전후해서는 에너지의 해외의존도가 47.5%정도였으며 에너지자원중 석유의 의존도는 47.2%에 불과했다. 이 시기에는 공업원료로는 경유나 등유 등 석유관련제품들을 사용하였지만 생활연료로서는 목재와 석탄 등을 많이 사용하였기 때문에 해외의존도는 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 이후 1980년대 접어들어서는 급격한 산업화와 함께 에너지자원의 해외의존도는 73.5%로서 70% 이상으로 높아졌으며 90년대 87.9%를 거쳐 2000년에 접어들어서는 97.3%로 나타나서 해외의존도가 대단히 높아지고 있다.

이에 국내에서도 70년대 오일 쇼크와 최근 계속적인 국제유가 상승 등으로 인해 에너지원의 해외의존도를 줄이고 친환경적이고 계속적으로 이용가능한 에너지원에 대해서 관심을 가지게 되었다. 최근 1997년 대체에너지개발 및 이용·보급촉진법을 마련하여 대체에너지에서 태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄을 가스 또는 액화한 에너지, 해양에너지, 폐기물 에너지의 8개 에너지를 지정하여 그 이용 및 보급에 법률적인 기반을 가지게 되었다. 즉 대체에너지에 대한 문제는 개인의 문제뿐만 아니라 국가 내지는 범지구적인 문제로 인식되는 것이 바람직할 것이다. 이중에서 재생 가능하며, 지속적으로 이용가능한 에너지원으로서 생물자원의 총칭인 '바이오매스(Biomass)'에 대한 관심이 높아지고 있다.

표 1. 우리나라 에너지 소비량 및 비율 (2000년 12월 기준)

종 류	단 위	소 비 량	비 율(%)
석 유	천톤	764,015	49.3
LNG	천톤	18,122	11.3
무 연 탄	천톤	7,627	1.0
유 연 탄	천톤	67,144	21.3
원 자 력	GWh	119,103	14.3
수 력	GWh	5,229	0.6
기 타	천 TOE	2,809	1.3

(자료 : 산업자원부 에너지 통계)

특히 국내와 같이 대부분의 국토가 산으로 이루어진 조건에서는 바이오매스 에너지원이 석유와 같은 화석연료를 대체할 수 있는 매우 유망한 에너지 자원이 될 것으로 판단된다. 또한, 바이오매스 자원 중에서도 특히 목질바이오매스의 관심이 높아지고 있다. 목질바이오매스가 주목받는 이유는 그 자원량이 풍부한 것뿐만 아니고, 목질바이오매스 에너지의 이용이 오랜 기간 불황이 지속되고 있는 임업·임산업을 기반으로 하는 산간 지역의 활성화와 간벌이 늦어지고 있는 인공림의 시업을 촉진하여 산림의 공익적 기능에 기여하는 것을 기대할 수 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 대체에너지로서의 바이오매스에너지원의 정의와 특성 등을 살펴보고, 국내에서의 바이오매스 에너지원의 잠재력과 이용가능성에 대해서, 특히 임지잔재, 간벌재 등의 목질바이오매스의 자원량, 수확작업 및 외국의 이용사례에 대하여 검토하였다.

바이오매스(biomass)의 정의 및 특성

지구상에는 태양광을 에너지원으로 하여 탄소 가스(CO₂)와 물로부터 유기물과 산소를 생산하는 과정이 식물체에서 일어나, 이 작용으로 생성된 유기물체를 총칭하여 '바이오매스'라고 한다. 구체적으로는 바이오매스에는 농림수산자원 또는 유기성 산업폐기물, 도시폐기물 등이 포함되어 있

어, 1년간 고정되는 에너지량과 지구의 육지에 저장되는 바이오매스량은 각각 인류의 연간 에너지소비량의 약 7배와 약 70배에 해당되며, 그중 산림에 저장되는 양이 90%에 달한다. 바이오매스의 원래의 정의는 그림 1과 같이 생태계 분야에 있어서 '생물현존량'(Bio(생물)+Mass(량))이지만, 에너지·자원 분야에서는 '에너지원으로서의 생물자원'의 총칭 또는 화석자원의 대체재료로 정의하고 있다. 에너지원으로서의 바이오매스는 세계의 1차 에너지 공급의 13~14%를 차지하고 있다(다른 재생가능 에너지로는 수력이 6%). 개발도상국(세계 전 인구의 3/4 점유) 가운데 가장 빈곤한 나라에서는 90% 이상의 에너지를 바이오매스에 의존하고 있으나, 이것은 땀감(장작)으로서의 이용이 대부분이다. 스웨덴과 핀란드에서는 1차 에너지 공급의 16~18%를 차지하고 있다(현재는 20% 이상). 스웨덴을 시작으로 북유럽에서는 임지잔재와 간벌재로 만든 칩(chip), 그리고 목질 펠릿(pellet) 등을 이용한 열공급과 발전이 중심이지만, 이것은 자국에서 석유가 거의 나지 않기 때문에 생태적이며 지속가능한 에너지원으로 자국의 에너지를 운영하려는 정책과 가격면에서 화석연료에 대한 바이오매스의 경쟁력이 거의 대등하게 되었기 때문에 가능했던 것으로 판단된다.

표 2와 같이 바이오매스의 장점의 관점에서 보면, 최근 지구온난화 문제와 에너지 문제 등이 심각해짐으로 인하여, 관련 각 분야(특히 에너지·

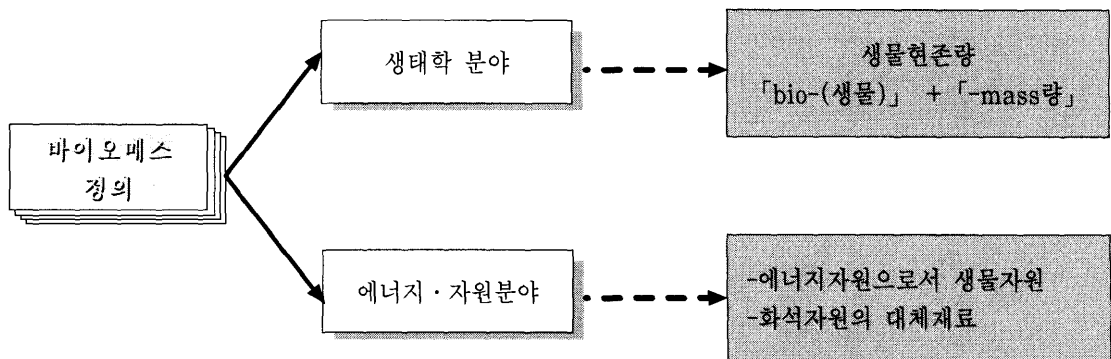


그림 1. 바이오매스의 정의

표 2. 바이오매스의 특성

장 점	단 점
-재생가능(renewable)	-단위질량당 발열량이 낮음
-막대한 량(abundant)	-단위면적당 생산량이 적음
-저장성·대체성 (storable and substitutive)	-공급량의 계절변화가 있음
-카본 뉴트럴(carbon neutral)	-에너지 이외의 용도와 경합
	-생산지에서부터 수확·수집 필요

자원 분야)에서 바이오매스에 대한 관심이 높아지고 있는 것이며, 바이오매스의 단점의 관점에서 보면, 높은 수집·운송가격으로 발생하는 바이오매스자원의 고비용화가 바이오매스자원 이용의 추진을 방해하는 최대요인의 하나이다.

또한 바이오매스의 에너지 변환기술로는 예를 들면 산림바이오매스, 공장폐재, 해체폐재 및 가로수 전정가지인 목질계 바이오매스는 발전, 열공급 및 펠릿화로 변환할 수 있으며, 초본계는 메탄올 등을 생성하여 가솔린 대체연료로서도 이용될 수도 있다. 또한 축산폐기물 중 가축분뇨로서 메탄가스 등으로 변환할 수 있는 것이다 (그림 2).

국내의 산림 바이오매스 자원현황과 공급잠재력

산림 바이오매스는 목재 생산시 발생하는 초두부, 가지 등의 임지잔재, 임내에 방치된 미이용 간벌재, 인공림 중에서 간벌이 필요하지만 방치되어져 있는 임분, 또는 신탄재 등의 목적에 사용되었으나 현재 사용되지 않는 활엽수림, 대나무와 조릿대, 제재공장 또는 합판공장에서 발생하는 부산물 등의 공장폐기물, 건축물의 해체폐기물, 가로수의 가지치기 후 발생한 가지 등이 포함된다.

목질바이오매스의 자원량에 대해서는 1990년 대말 산림과학원에서 폐재에 대한 조사를 실시하였다. 연구에서 폐재를 발생원인별로 임지 폐목

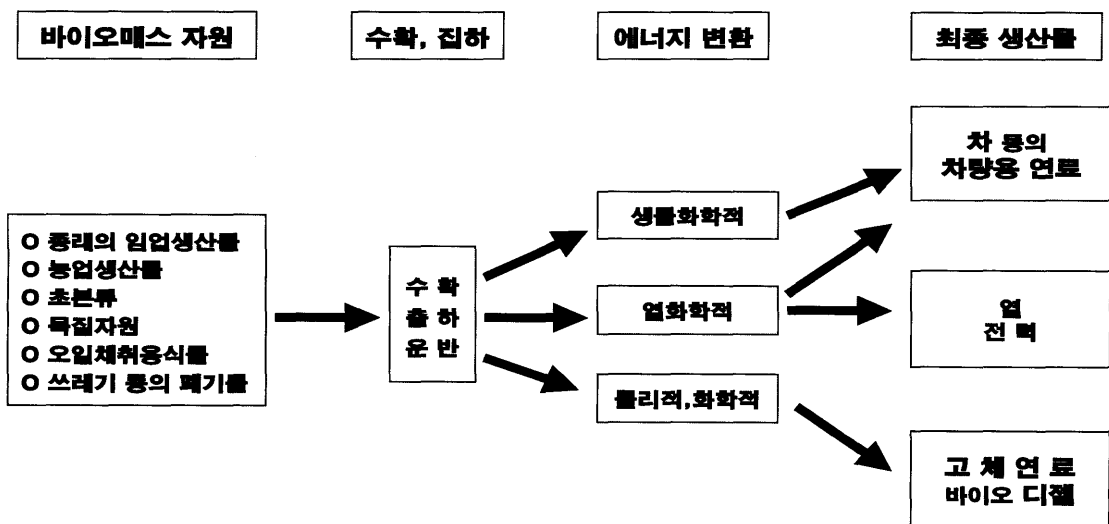


그림 2. 바이오매스 에너지의 여러 가지 변환방법

재, 산업가공 폐목재, 생활 폐목재, 건설 폐목재, 물류 폐목재 등으로 구분하고 있는데, 1998년 기준 국내 폐목재 총발생량을 10,946,000m³으로 추정하고 있다. 이 중에서 재이용되거나 재생보드, 톱밥의 원료 또는 연료 등으로 재활용되는량은 약 44.8%인 4,907,000m³이다. 따라서 전체 폐목재 발생량중 약 55.2%인 6,039,000m³은 소각 또는 매립 등의 형태로 미활용되고 있어, 향후 에너지원으로서의 활용잠재력이 매우 높다고 할 수 있다(그림 3).

임지 폐잔재 활용 실체를 보면, 그림 4와 같이 주벌이나 육림 등 산림작업 후 반출되지 않고 벌채 현장에 방치된 폐잔재와 표고재배 후 나도는

골목을 의미한다. 즉, 임지 폐잔재는 임지 폐목재와 폐표고 골목인데 임지 폐목재 총 발생량 759,000m³중 79%인 603,000m³이 재활용되고 있고, 21%인 156,000m³이 폐기되고 있는 것으로 파악하고 있다.

또한 김기원(2004)에 의하면 강원도의 경우 2000년 1월부터 2002년 9월까지 각종 육림작업으로 발생한 총 임목 생산량 중 49.1%만이 수집되었을 뿐 51%에 해당하는 목질자원이 산림속에 쌓아 놓거나 그냥 방치되고 있음을 보고하고 있다. 그리고 추정하고 있는 국내 임지 폐목재 방치량은 540,000m³이 될 것으로 추산하고 있다. 이러한량은 표 1에서 제시하고 있는 국내 에너지

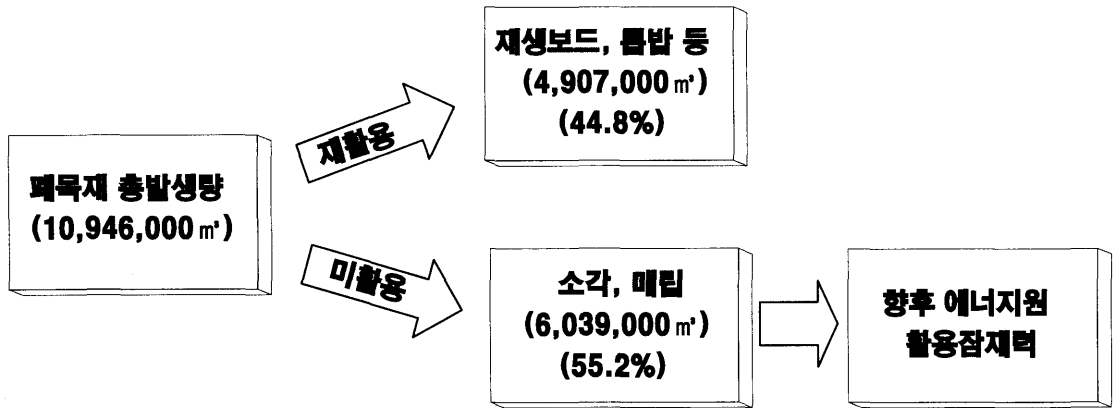


그림 3. 폐목재 자원량 및 활용잠재력

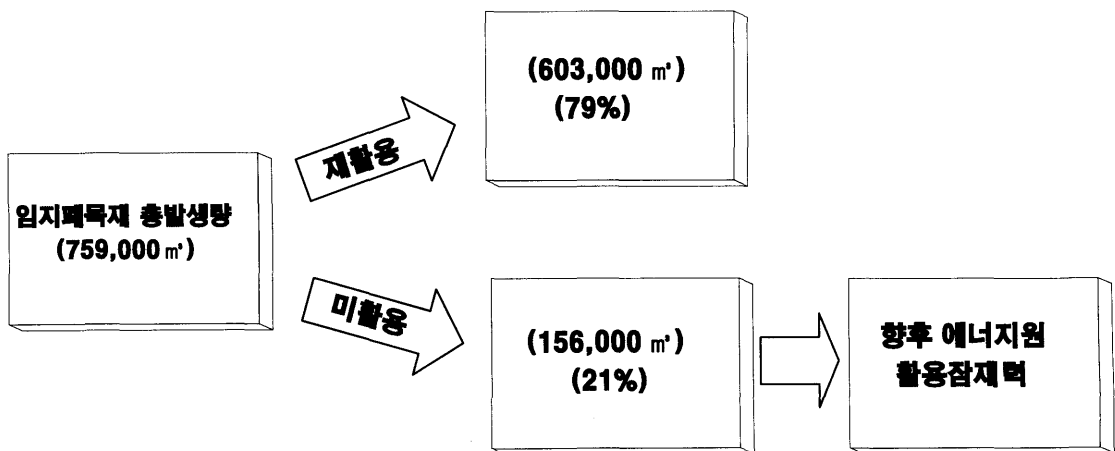


그림 4. 임지폐목재 자원량 및 활용잠재력

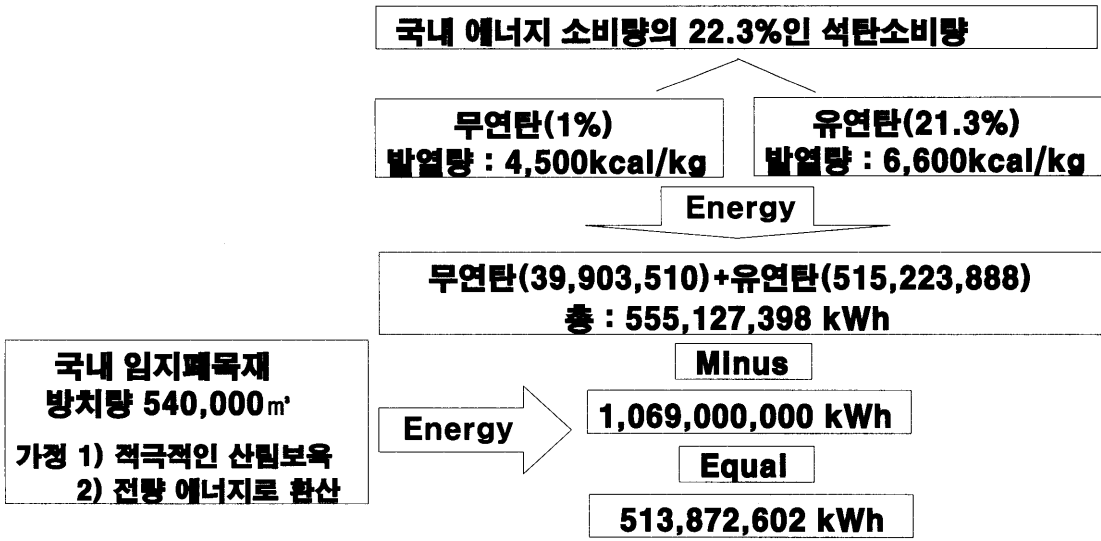


그림 5. 임지폐목재의 석탄소비량 대체잠재력(차두승과 오재현, 2004)

소비량중 22.3%를 차지하고 있는 석탄의 소비량을 에너지로 환산했을 경우, 그 발열량은 무연탄이 4,500kcal/kg이고 유연탄의 경우 6,600kcal/kg일 때 각각 39,903,510.63kWh와 515,223,888.7kWh이다. 이러한 에너지 수치는 국내 임지 폐목재 방치량 540,000m³을 에너지로 전환하였을 경우 (침엽수와 활엽수의 구성비는 7:3으로 계산하였고, 목재의 에너지량은 침엽수의 경우 1.8MWh, 활엽수의 경우 2.4MWh로 산정) 10억6천9백만kWh의 에너지량을 얻을 수 있다(그림 5). 물론 폐목재의 에너지량의 추산 자체가 정부에서 산림 보육을 적극적으로 실시하고 이를 전량 에너지로 환산하였을 경우의 가정이므로 실제와는 차이가 있을 것으로 판단되지만 현재의 수치로는 100% 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 문제는 역시 이러한 바이오매스자원을 어떻게 효율적으로 수집하느냐에 그 성패가 달려 있다.

Yoshioka(2004)에 의하면 바이오매스 에너지의 경우 에너지 회수년수가 평균 1.09년이 소요되는 반면에 기타 재생가능한 대체에너지인 풍력이 1.99년 태양광이 10.0년 등으로 각각의 시스템을 구축하기 위해서 투자된 에너지를 발전에 의해 회수하는 기간이 바이오매스의 경우가 훨씬

우수하기 때문에 이에 대한 투자와 관심이 더욱더 필요하다고 생각 된다. 따라서 이제는 에너지 효율적인 측면이 아니라, 경제적으로 혹은 효과적으로 산재된 바이오매스를 어떻게 효율적으로 수집하는가에 따라 이 바이오매스자원의 효율적인 이용의 성패가 달려 있다고 하겠다. 따라서 산지로부터 직접 수확해 연료의 형태로 가공하기보다는 1차적인 이용 용도를 가질 수 있도록 관련 목재산업의 부흥이 필요하며 또한 이러한 목재를 가공하여 만든 제품이 지구환경에 어떤 영향을 끼치고 있으며 어떻게 지구환경에 이바지하고 있다는 등의 내용에 대한 교육과 지도가 필요할 것이다. 즉 산림의 목질계 바이오매스가 연료로서의 역할 뿐만 아니라 1차적으로 목제품으로 탄소고정의 기능을 계속 수행하면서 차후 제품으로서의 기능을 상실하거나 더 이상 필요한 용도로 사용할 수 없을 때 연료로서 다시 가공해 이용하는 다단계적인 목재의 이용도 고려해 볼 수 있을 것이다.

산림바이오매스 자원의 수집방안

전술한바와 같이 국내 바이오매스의 잠재적인

이용량이 있음에도 불구하고 국내에서는 산림 바이오매스의 에너지이용이 원활하게 진행되지 않고 있다. 이는 실용화 단계에 있는 산림바이오매스의 에너지 변환기술과 비교해 보았을 때, 넓은 지역에 분산되어 있는 바이오매스를 낮은 가격에 수집·운송할 수 있는 기술이 아직 확립되지 못한 것이 가장 큰 원인으로 생각할 수 있다. 외국의 경우 기계화된 집재작업 시스템에 의한 임지 잔재, 간벌재 등의 수확에 관한 다양한 검토가 지속적으로 이루어져 왔기 때문에 에너지자원으로서의 산림바이오매스의 지위가 향상된 것과 대조적으로 국내에서는 수확과 이용의 검토가 이루어지지 않고 있어 조재작업시 발생하는 임목의 초두부와 가지는 폐기물로 취급되며, 간벌재는 집재되지 않고 임내에 방치되기에 이르렀다.

그러나 국내에 있어서도 최근 지구규모의 온난화문제에 대한 관심이 높아지고 있어 산림 바이오매스의 에너지이용을 향한 분위기가 조성되고 있음에도 불구하고 “과연 수확이 가능할 것인가”, “수집이 가능하다면 비용은”, “에너지 측면에서 본 효율은”, “이산화탄소배출량의 감소효과는”에 대해서는 전혀 밝혀진 바가 없는 상황이다. 따라서 본 절에서는 이러한 문제중 가장 시급한 수집 시스템에 대하여 국내에 도입된 기종과 개발된 기종을 중심으로 간벌재의 집재비용에 관한 것과 이렇게 수집된 간벌재를 효율적인 에너지원으로

이용하기 위해서는 1차적인 가공이 불가피하다. 이런 일차적인 파쇄 및 가공에 소요되는 비용을 분석하므로써 이 가공에 필요한 적정한 기계를 투입하여 보다 효율적인 산림바이오매스자원의 활용을 기대하고자 하였다(차두송 등 2003).

1. 임업기계별 수집시스템

1) 케도형 집재차

케도형 집재차는 집재로를 이용한 원목운반 및 원치에 의한 단거리 집재작업용 장비로서 직인식 작업 뿐만 아니라, 장비가 주행할 수 없는 지형에서도 분할 드림을 사용한 간이가선식 집재작업이 가능하며 차체 전면에 있는 도저 블레이드를 이용하여 작업로상의 장애물을 제거하며 주행할 수 있는 장비이다.

2) 트랙터 원치

임업용으로 개발한 트랙터원치는 원치의 견인력이 4톤이고 유선리모콘 조작으로 전간 및 전목 집재가 가능한 장비로 집재작업 이외에 조림지 정리작업의 지조물 제거 등 다목적으로 이용할 수 있는 장비이다. 또한 벌채지의 진입하기 어려운 곳에서는 원치에 의한 견인집재를 실시하고, 완·중경사지에서는 집재판에 원목을 얹어 주행할 수 있다.

표 3. 케도형 집재차의 제원

제작회사	모델	정격출력		최대적재용량 (kg)	등판능력 (°)	원치	
		출력	형식			견인력 (kg)	형식
안마 (일본)	YCT 250W	PS/rpm 15/2600	수냉식 4사이클 디젤엔진	2,000	20 (1단, 2톤적재)	700	1드림, 기계식

표 4. 트랙터원치의 제원

제작 회사	원치 견인력 (ton)	드림	트랙터 부착방식	자체중량 (kg)	견인속도 (m/분)	적용트랙터	크러치, 브레이크 조작방식
리터 (독일)	5	2드림 (ø10mm×100m)	고정식	650	18~36	80마력이상	유선 리모콘식

표 5. 타워야더 RME-300T의 제원

제작회사	모델	정격출력		등판능력 (°)	원치	
		출력	형식		견인력 (kg)	형식
오이카와 (일본)	RME-300T	PS/rpm 87/2600	수냉식 4사이클 디젤	35	1,500	더블캡스틴 드럼, 인터록크

3) 타워야더

타워야더는 최근에 사용되고 있는 대표적인 가선계 기계로써 이동성이 뛰어나고 가설과 철거가 간편하고 간벌작업 등에서 앞으로 많은 도입이 기대되는 고성능임엽기계로 급경사지에서 효율성이 높은 가선계 집재기계이다. 현재 타워야더는 임엽기계훈련원, 임엽기능인훈련원, 산림청의 국유림관리소에 5대 정도가 도입되어 있고 잣나무 대경재와 소경재 간벌작업에 사용되고 훈련, 교육에도 사용되고 있다.

4) 트랙터부착 HAM200 집재기

트랙터부착 HAM200 집재기는 가선에 의해 원목을 가공선방식으로 집재하는 집재기로 트랙터에 부착하여 PTO의 동력을 이용한다. 일반적으로 급경사지나 완경사지에서 단목이나 전간재의 단거리 간벌작업에서 사용할 수 있는 집재기계이다.

상향집재와 하향집재가 모두 가능하지만 타워야더

와 같이 하향집재가 가능하도록 인터록크 기능이 장착되어 있지 않으므로 전간 또는 전목의 하향집재작업에 위험이 따르고 효율성이 떨어진다.

2. 작업지 조건

작업지 조건은 표 7과 같다.

3. 작업내용

궤도형 집재차의 원치에 의한 직인식과 간이가선식 집재, 트랙터원치, 타워야더 및 트랙터부착 HAM200집재기에 의한 집재작업을 조사하였다.

4. 요소작업별 시간 구성 내역

1) 궤도형집재차의 직인식 집재방법

순수작업으로는 초척설치가 1회당 1.46분으로

표 6. 트랙터부착 HAM200의 제원

제작회사	원치견인력 (ton)	드럼	트랙터 부착방식	자체중량 (kg)	최대집재거 리(m)	적용트랙터 (마력)
유비물산	3	2드럼 (ø10mm×200m)	고정식	1,000	200	50~80

표 7. 집재작업지의 개황

조사장소	수종	평균흉고 직경(cm)	평균 수고(m)	벌채재적 (m ³ /ha)	경사 (%)
A지역	잣나무	25	15	40.0	54
B지역	낙엽송	12	10	28.0	43
C지역	잣나무	40	22	86.7	15~30
D지역	리기다소나무	11	12	72.6	15~30

표 8. 집재작업 내용

작업방법	조사회수(회)	집재재적(m ²)	집재거리(m)	작업조편성
케도형집재차 직인식	124	29.48	20.1	2인 1조 (기사 1인, 초커맨 1인)
케도형집재차 간이가선식	138	38.93	57.0	3인 1조 (기사 1인, 초커맨 1인, 집재장 1인)
트랙터윈치	78	27.47	25.1	2인 1조 (기사 1인, 초커맨 1인)
타워야더	16	31.31	99.1	3인 1조 (기사 1인, 초커맨 2인)
HAM200	18	8.41	22.1	2인 1조 (기사 1인, 초커맨 1인)

서 전체의 19.0%로 가장 높은 점유율을 나타냈으며, 다음은 로프끌기가 1.04분으로서 13.6%로 산출되었다. 윈칭작업이 1회당 1.08분으로 14.1%, 초커제거 및 이동이 각각 0.83분, 0.81분으로서 전체의 10.8%, 10.6%를 차지하고 있다. 일반작업으로서는 준비 및 이동시간이 1회당 0.88분으로서 전체의 11.5%, 휴식(대기)가 0.78분으로서 10.2%를 차지하고 있다.

2) 케도형집재차의 간이가선식 집재방법

순수작업으로는 초커설치가 1회당 1.17분으로서 전체의 12.1%, 적재주행이 1회당 1.13분으로서 전체의 11.6%로, 공주행이 1.06분으로서 10.9%를 점유하고 있다. 일반작업으로서는 준비 및 정리시간이 1회당 1.57분으로서 전체의 16.2%, 휴식이 1.10분으로서 11.4%를 차지하고 있다.

3) 트랙터윈치 작업

순수작업으로는 윈칭작업이 1회당 2.53분으로서 전체의 21.2%, 초커설치가 1회당 1.81분으로서 전체의 15.1%로, 로프끌기가 1.22분으로서 10.2%를 점유하고 있다. 일반작업으로서는 장비지체가 1회당 1.41분으로서 전체의 11.8%, 휴식이 1.33분으로서 11.1%를 차지하고 있다.

4) 타워야더(OIKAWA Tower yarder RME-300T) 집재작업

체인톱을 이용하여 벌채 및 가지치기를 하고 집재후 3인의 조재 및 가지치기 작업, 1인의 굴삭기 그레플을 이용한 원목정리 및 쌓기작업으로 총 7인이 작업하는 형태이다. 타워야더의 스카이라인은 120m 설치하였으며, 평균횡취거리는 16.3m, 평균집재거리는 99.1m로 조사되었다. 집재작업의 조사작업시간은 타워야더 집재작업 16회(싸이클)로 2시간 22분 20초를 조사하였으며, 싸이클타임 평균은 8분 54초로 계산되었다.

요소작업별로는 적재주행시간이 32.6% 및 반송기 공주행 시간이 21.8%로 반송기의 주행시간이 전체 작업시간의 54.4%를 차지하여 싸이클타임에서 50%가 넘는 비율을 나타내었다.

5) 트랙터부착 HAM200집재기 작업

집재작업의 조사작업시간은 집재작업 18싸이클로 2시간 51분 29초를 조사하였으며, 싸이클타임 평균은 14분 11초로 계산되었다. 요소작업별로는 기타시간이 53.9%로 임업기계를 이용한 집재작업이 숙달되지 않아서 집재작업이 순조롭게 진행되지 않고 1회 집재작업 후 연속적으로 집재작업이 원활이 이루어지지 않는 등의 이유로 작업시간보다는 지연 및 기타시간의 비율이 높게 나타남을 알 수 있었다.

표 9. m²당 작업비용

구 분	궤도형집재차 (직인식)	궤도형집재차 (간이가선식)	트랙터윈치	타워야더	HAM200집재기
평균집재거리(m)	20.10	57.00	25.10	99.10	22.10
싸이클 집재재적(m ³ /회)	0.24	0.29	0.36	1.29	0.36
싸이클타임(분/회)	7.66	9.67	11.96	8.54	14.11
시간당 싸이클(회/시간)	7.83	6.21	5.02		
시간당 집재재적(m ³ /시간)	1.88	1.80	1.81	5.59	1.50
1일 집재량(m ³ /일)	11.28	10.80	10.86	31.35	8.41
작업비용총계(원/일)	170,725	220,725	249,700	337,525	173,125
m ² 당작업비용(원/m ²)	15,135	21,142	22,993	20,610	9,606

5. 집재방법 유형별 조사결과

궤도형 집재차의 직인식 및 간이가선식, 트랙터 윈치, 타워야더, HAM200집재기에 의한 m²당 작업비용의 결과는 표 9와 같다.

작업비용으로는 HAM200집재기에 의한 집재작업이 가장 효율적인 것으로 나타났으나, 집재거리가 약 22m정도로서 거리에 대비한 비용분석은 별 의미가 없으며, 또한 시간당 집재재적 및 1일 집재량이 가장 작게 산출되어, HAM200집재기에 의한 집재방법은 실제적으로는 효과가 약한 판단된다. 그러나 이에 비하여 산악지형의 급경사지에서 이용되고 있는 고성능 임업기계에 속하는 타워야더는 싸이클타임도 빠르고, 평균집재거리도 4가지 방법중에서도 가장 길며, 시간당 집재재적 및 1일 집재량이 가장 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 앞으로 타워야더에 의한 집재방법의 검토가 요구되고 있는 실정이다.

산림바이오매스 자원의 톱밥 이용 사례

산림바이오매스의 이용사례로서 톱밥을 이용하여 분석을 실시하였다. 대상지로서 홍천국유림관리소, 평창산림조합, 춘천농업센터의 톱밥생산으 공정분석, 1m²당 생산비 분석 및 경제성 검토를 실시하였다(서영완과 차두송, 2002).

1. 홍천 국유림관리소

1) 톱밥생산 공정분석

조사 대상지는 수종 갱신지, 천연림보육지, 간벌지로 구분하여 각 유형별로 톱밥 1m²의 생산비(원목수집인건비+톱밥제조비+물류비)의 합계로 계산하였다. 원목수집인건비는 1일 수집작업량 대비 인건비로 환산하였으며, 톱밥제조경비는 1일 작업량 대비 인건비 및 1일 기계비용(유류대, 감가상각비, 수리비, 재료비)을 합하여 산출하였고, 물류비는 수요처까지 운송비용으로 산정한다.

2) 톱밥 1m²당 생산비 분석

하루 실제작업시간을 노동시간 8시간의 80%로 볼 때, 1인 1일 원목 수집량은 수종갱신지 1.11m², 천연림보육지 1.52m², 간벌지 1.20m²으로, 평균 1.27m²이며, 톱밥제조기의 하루 실제 작동시간을 작업시간 8시간의 70%로 볼 때, 대당 1일 생산량은 39.24m³(8.5분/m³)이었으며, 1인 1일 생산량은 수종갱신지 8.84m³, 천연림보육지 9.70m³, 간벌지 20.90m³으로, 평균 9.81m³이다.

목재 1m³은 생재 중량으로 1ton, 톱밥생산량으로 2.3m³이므로 ha당 수집가능량은 수종갱신지 19m³, 천연림보육지 22m³, 간벌지 15m³으로 산정되었다. 또한 대상지별 톱밥 1m²당 생산비는 수종갱신지 36,701원, 천연림보육지 29,551원, 간벌지 33,115원으로 평균 33,122원이며, 생산과정별 구성비는 원목수집비 57%, 톱밥제조비

표 13. 사업지 유형별 톱밥 1m³당 생산비

유 형 별	수 중 갱신지	천연림 보육지	간벌지	평 균
원목수집비	21,676	15,275	19,706	18,886 (57.0)
톱 밥 제조비	인 건 비	6,291	5,747	5,718 (17.3)
	기 계 경 비	2,358	2,154	2,143 (6.5)
	재 료 비	2,875	2,875	2,875 (8.7)
운 반 비	3,500	3,500	3,500	3,500 (10.5)
합 계	36,701	29,551	33,115	33,122 (100.0)

주: 원목수집비는 톱밥 1m³으로 환산한 비용으로서 원목으로는 0.43m³을 수집하는데 드는 비용임.

32.5%, 운반비 10.5%로 나타났다. 이중 인건비가 74.3%로 대부분을 차지하며, 운반비, 재료비, 기계경비 순으로 구성되었다.

3) 경제성 검토

톱밥의 m³당 시장가격은 가평 20,830원, 홍천군 화촌면 19,000원, 홍천군 동면 17,500원으로 평균 시장가격은 1m³당 19,110원으로서 m³당 손익(톱밥가격-생산비)은 -14,012원(19,100원-33,120원)으로서 산출되었다.

2. 평창 산림조합

1) 톱밥생산 공정분석

톱밥 1m³의 생산비는 순 제조원가, 일반관리비, 수수료의 합계로 산정하였으며, 또한, 포대생산일 경우와, 벌크생산일 경우로 나누어서 산정하였다.

순 제조원가는 재료비, 노무비, 노동경비의 합계로 산정되었으며, 재료비는 1일 직접재료비, 간접재료비를 합하여 산출하였으며, 직접재료비는 원료구입비와 자루구입비를 합해 산출하였고, 간접재료비는 직접재료비의 10%로 산정하였다.

노무비는 1일 직접노무비, 간접노무비를 합하여 산출하였으며, 그 중 직접노무비는 포대작업(3인 기준), 벌크작업(1.8인 기준)을 합하여 산

표 14. 비목별 톱밥생산비 및 구성비

(단위 : 원)

비 목	포 대		벌 크		평 균	
	비 용	%	비 용	%	비 용	%
재 료 비	726,000	67.5	600,000	70.5	663,000	69.0
노 무 비	165,000	15.3	99,000	10.6	132,000	12.9
경 비	147,560	13.7	146,140	15.6	146,850	14.7
일 반 관 리 비	8,820	0.8	7,020	0.8	7,920	0.8
수 수 료	29,400	2.7	23,400	2.5	26,400	2.6
총 원 가	1,076,780	100.0	935,560	100.0	1,006,170	100.0

출하였고, 간접노무비는 직접노무비의 10%로 산정하였으며, 경비는 전력비, 감가상각비, 수리수선비, 안전관리비, 보험료, 소모품비, 세금공과를 합하여 산출하였다. 일반관리비는 직접인건비 및 경비의 3%로 산정하였고, 수수료는 직접인건비 및 경비의 10%로 산정하였다.

2) 톱밥 1m³당 생산비 분석

1일 원목구입은 평균 10m³이었으며, 원목 1m³은 톱밥생산량으로 3m³이고, 무게는 1ton이었으며, 톱밥 1m³은 약 333kg이었고, 톱밥 1포는 33kg으로 산정하였으며, 톱밥 1m³의 포대생산일 경우는 생산원가가 평균 35,893원이고, 벌크생산일 경우는 생산원가가 평균 31,185원이다. 생산과정별 구성비는 포대생산일 경우는 재료비 67.5%, 노무비 15.3%, 경비 13.7%, 수수료 2.7%, 일반관리비 0.8%이고, 벌크생산일 경우는 재료비 70.5%, 노무비 10.6%, 경비 15.6%, 수수료 2.5%, 일반관리비 0.8%이었다.

3) 경제성 검토

톱밥의 1m³당 생산원가는 포대생산일 경우 약 35,893원이고, 벌크생산일 경우 약 31,185원이고, 제품단가는 1m³당 포대생산일 경우 35,000원이고, 벌크생산일 경우 31,000원이다. 이때 포대생산의 경우 m³당 손익(제품단가-생산원가)은 -10,000원(25,000원-35,000원)으로 산출되었다.

3. 춘천 농업센터

1) 톱밥생산 공정분석

톱밥 1m³의 생산비는 재료비, 운영비, 인건비,

산재보험료의 합계로 산정되었으며, 생산과정별 구성비는 재료비가 7.6%, 운영비가 6.1%, 인건비가 83.4%, 산재보험료가 2.9%로 나타났다. 즉, 인건비가 대부분을 차지하고 있으며, 재료비, 운영비, 산재보험료의 순으로 구성되어 있다.

2) 톱밥 1m³당 생산비 분석

2000년 총 생산량 872.4ton을 1일 단위로 환산한 결과, 1일 생산량은 평균 2.39ton으로, 톱밥 1m³당 생산비의 산출은 다음과 같다.

- 톱밥 1ton = 3m³이므로 1일 생산량은 2.39ton × 3 ≃ 7.2m³
- 1m³에 대한 평균생산비 = 1일 생산비 339,584원 ÷ 7.2 = 47,164원

3) 경제성 검토

톱밥의 시장가격은 1m³당 19,875원으로 m³당 손익(톱밥가격-생산비)은 -27,289원(19,875원-47,164원)으로 산출되었다.

4. 종합분석

1) 생산비의 구성비별 현황

평창 산림조합의 경우는 재료비가 전체의 67.5%를 차지하였고, 홍천 국유림관리소와 춘천 농업센터의 경우 인건비가 각각 74.3%, 83.4%로 총 생산비에서 대부분을 차지하였으며, 평창 산림조합의 경우 재료비가 가장 높은 비율을 차지하고 있는 이유는 원목을 직접 구입하여 생산하는 반면, 홍천관리소와 춘천농업센터는 공공근로 사업에서 발생한 간벌재를 이용하기 때문이었다.

표 15. 총 생산비 및 1일 환산 생산비

(단위 : 원)

구 성	총비용(1년)	1일 환산		비 고
		비 용	%	
재 료 비	9,414,000	25,792	7.6	
운 영 비	7,593,000	20,803	6.1	
인 건 비	103,354,000	283,162	83.4	1일≃ 4명 × 28,000원
산재보험료	3,587,000	9,827	2.9	
총 생산비	123,948,000	339,584	100.0	

표 16. 각 사업지별 생산비의 구성비

(단위 : %)

구 성 비	재 료 비	인 건 비	운영비·기타	합 계
홍천국유림관리소	8.7	74.3	17.0	100.0
평창산림조합	69.0	12.9	18.1	100.0
춘천농업센타	7.6	83.4	9.0	100.0

2) 원목 수집비의 ha당 보조단가 산정

톱밥생산에 대한 경제성을 검토해본 결과 홍천 국유림관리소의 경우 m³당 14,012원, 춘천 농업센타의 경우 m³당 27,289원, 평창 산림조합의 경우 m³당 10,000원의 수치 불균형이 초래되었다. 따라서 현재의 톱밥 시장가격에서는 정부의 지원없이 톱밥생산이 불가능하다고 할 수 있을 것이다. 그러므로 보조금 지원규모는 각 기관별로 생산의 효율성에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 홍천 국유림관리소의 경우, 산림사업지의 원목수집 가능은 벌채유형, 임도까지의 거리 및 경사에 따라 차이가 있으나 ha당 평균 18.6m³임. 이를 수집하는 데에는 14.7인이 요구되어 산림사업 보조단가(41,200원/1인/1일) 적용시 ha당 605천원의 원목수집비 보조가 필요할 것으로 판단된다.

국내·외 바이오매스의 이용 사례

바이오매스 에너지는 전세계적으로 인류의 전통적 에너지원(땃감)으로 사용된 것이며 땃감의 형태로는 후진국은 물론 일부 선진국(미국, 스웨덴, 캐나다, 프랑스)에서도 에너지원으로 널리 쓰였으며 현재까지도 선진국을 포함한 개발도상국 및 후진국에서 계속적으로 이용되고 있다. 특히 1970년대의 2번의 오일쇼크이후 대체에너지의 관심과 이용이 계속적으로 증가한 이래, 바이오매스에 관한 연구도 상당히 많은 연구와 투자를 하고 있다. 국가별로 살펴보면 다음과 같다.

1. 북미(미국, 캐나다)

미국은 국립재생에너지 연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL) 주

도하에 Biofuels Program을 수행중에 있으며 Biofuels Program은 1988년 착수되어 현재 2단계 연구사업에 진입해 있으며 연구내용은 에탄올, 가스화에 의한 메탄올 생산, 미세조류 배양에 의한 바이오디젤 생산, 그리고 에너지 작물의 재배 등 바이오에너지 생산기술 전반에 관한 것이다. 같은 기간중 연구개발을 통하여 특히 중점을 두고 있는 목질계 에탄올의 생산단가는 1986년 2.28\$/gal(0.60 \$/ℓ)에서 1993년 1.22\$/gal(0.32 \$/ℓ)까지 절감되었다.

NREL은 1단계(1988~1992) 연구기간중 목질계 에탄올 분야에서 공정기술의 통합분야 및 동시당화공정 개발을 추진하며 대학, 연구소, 기업 등에 전처리, 효소 생산, 알콜 발효균주 개발 등 요소기술의 기초연구를 위탁하여 많은 성과(생산원가 절감)를 거두었으며, 2단계 기간중에는 1993년 하루 나무칩 1톤 전환처리 규모의 PDU(Pilot Development Unit: 실증시험장치)를 건설하여 공정계통의 최적화에 노력하고 1996년 PDU의 전면최적화 개수를 실시할 예정이다.

NREL은 이외에 바이오매스 가스화에 의한 메탄올 생산기술(1996년까지 100톤/일 처리 PDU 건설), 미세조류 바이오디젤(1996년까지 소형실증장치 건설) 생산기술, 유기성 폐기물 메탄가스화 장치기술의 개발을 추진하고 있으며, 1996년 에너지작물 부문은 10년간 재배시험 결과를 총정리할 예정이다.

캐나다는 1990년 까지 목질계 에탄올 생산 분야에서 전처리법의 일종인 증기폭쇄법을 Canada Center for Mineral and Energy Technology와 STAKE Technology를 중심으로 대학과 협력하여 개발하여 왔으며 당화발효분리 공정을 선호하여 왔다.

2. 일본

일본의 바이오에너지 기술개발은 NEDO(신에너지 산업기술 총합개발기구)를 중심으로 이루어지고 있으며 현재는 메탄올 연료기술 개발(유류 발전소의 메탄올 연료 전환 시범 메탄올은 바이오매스 가스화후 합성으로 가능), 도시폐기물을 활용한 발전기술 그리고 도시유기성 폐기물의 메탄발효 기술을 연구하고 있다.

1970년대의 몰아닥친 오일파동이후 일본은 화석연료를 대체할 재생 에너지 개발에 주력을 하고 있으며, 특히 임업 분야에서도 목질계 바이오매스의 에너지 변환 기술에 많은 관심을 갖고 연구 투자를 하고 있다. 이와 관련된 대표적인 연구로서 1981년부터 10년간 일본의 농림수산성이 중심으로 진행된 "생물자원의 효율적인 이용기술의 개발에 관한 종합 연구(바이오매스 변환계획)"이 있으며, 또한 이 기간에 임업과 임산업을 중심으로 한 다수의 바이오매스 관련 연구가 진행되었다. 그러나 대부분의 연구성과가 경제성을 극복하지 못하고 원유가격의 안정으로 실제 기술보급의 단계까지는 이르지 못한 채로 끝나고 말았다. 그러나 최근 지구규모의 온난화 문제가 대두됨으로써, 재생 가능한 에너지원으로서의 생물자원(바이오매스)에 대한 관심이 다시 높아지고 있다.

2001년 5월에 자원 에너지청에 의해서 발표된 新에너지도입 목표 중에 처음으로 바이오매스의 新에너지로서의 위치가 명확해 졌으며, 또한 2002년 1월 22일에 "新에너지 이용 등의 촉진에 관한 특별조치법 시행예의 일부를 개정하는 정령"이라고 하는 新에너지법이 내각에서 결정되어 1월 25일에 시행된 것 등 일본의 바이오매스 이용도 현실화되었다.

바이오매스 중에서도 목질계 바이오매스는 특히 일본에서 주목도가 높다. 이것은 자원량이 풍부한 것 이외에, 이런 에너지의 이용이 일본에서 오랜기간 동안 부진이 계속된 임업, 제재업을 기반으로 하는 중산간지역의 활성화 및 간벌이 늦어진 인공림의 관리로 산림의 공익적 기능 유지에 기여하는 것도 기대되어지고 있기 때문이다.

현재 에너지이용이 가능한 목질계 바이오매스 자원의 정량화, 저비용수확·운송시스템의 개발, 사회시스템의 요구에 입각한 변환 프로세스 등을 종합적으로 고려한 장래적인 도입·보급비전을 국가적인 차원에서 조속히 확립하는 것이 요구되어진다.

목질계 바이오매스에는 목재생산시에 발생하는 가지나 말구목 등의 임지잔재, 벌채된 후, 가격적인 문제로 임내에 방치된 미이용 간벌재, 신탄재 등의 용도로 이용되던 未利用 활엽수, 대나무, 조

표 17. 일본에서 1년간 발생하는 목질바이오매스의 未利用자원량

항 목	자원량 (10,000dry-t/년)	비 고
임지 잔재	300	- 미이용의 간벌재를 포함
간벌재	500	- 간벌대상림으로 간벌을 하지 않은 임분으로부터 간벌을 20%로 반출
활엽수	900	- 임도로부터 500m 이내의 용재림이외의 활엽수림을 벌기 30년으로 반출
대나무	30	- 연간총량 100만 dry-t 정도의 30%를 반출
조릿대	300	- 임도로부터 일정거리에 있는 조릿대를 반출
공장 폐재	40	- 목재공장 전반이 대상
해체 폐재	800	- 건축해체재, 신축폐재 등
가로수 전정가지	300	- 일본 전국의 공원녹지, 가로수등의 1차 생산량
계	3,170	

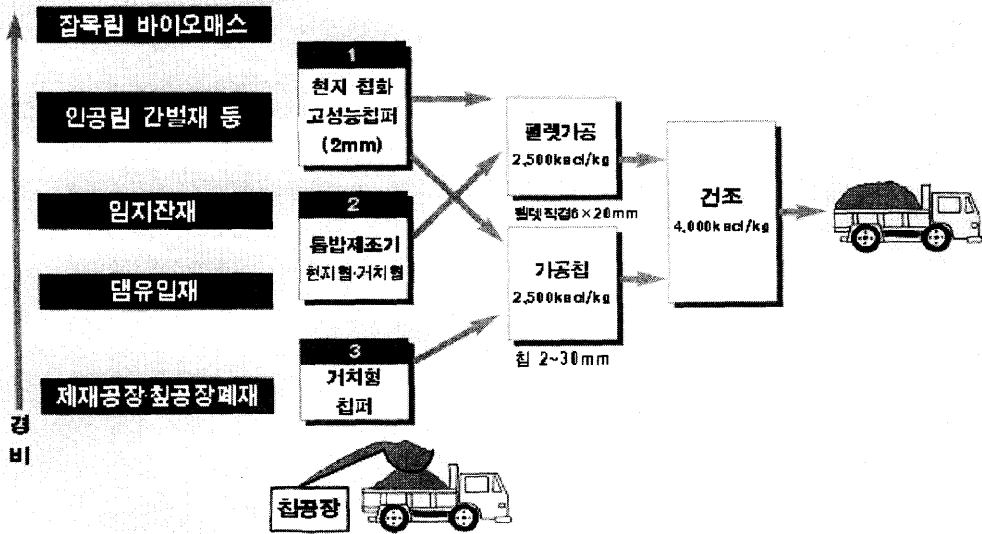


그림 6. 바이오에너지 생산시스템의 예

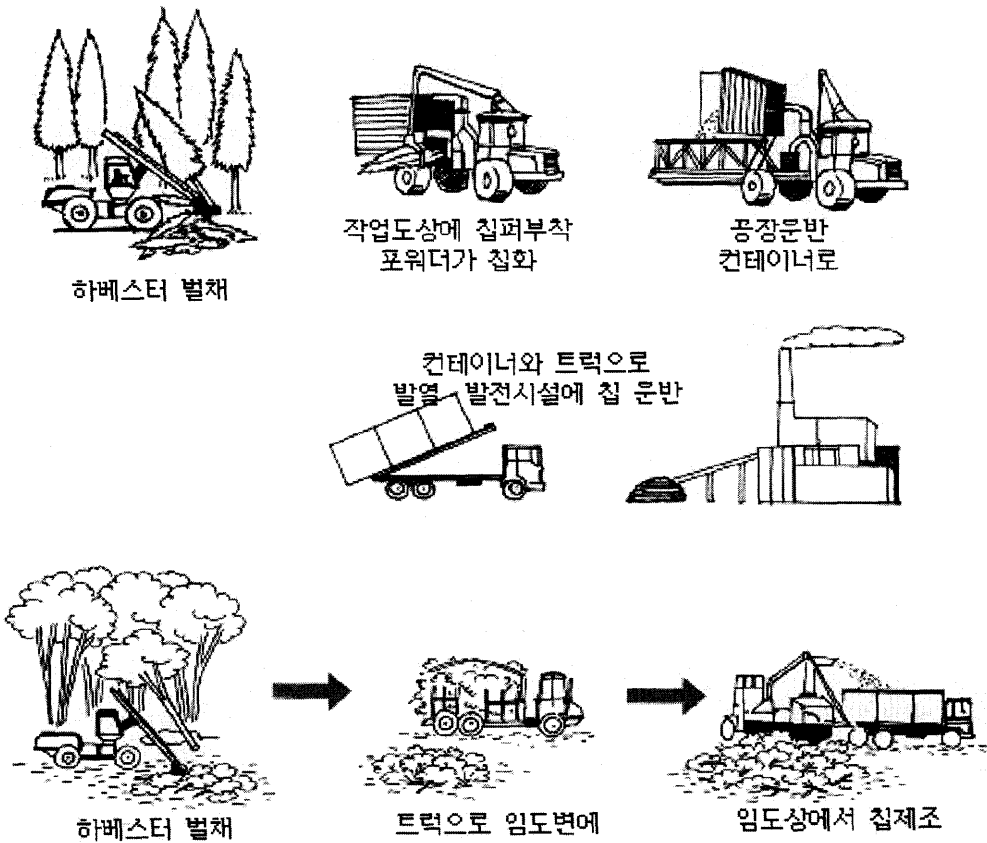


그림 7. 하베스터에 의한 집재작업 시스템의 예

릿대, 제재 공장 및 합판공장 등에서 발생하는 톱밥 및 나무껍질 등의 공장 폐재, 해체폐재, 가로수 전정 가지가 해당한다. 이와 같이 일본의 목질계 바이오매스의 미이용자원량을 표 17에 나타낸 것처럼 그 양은 연간 합계 3,170만 dry-t이 된다. 이 경우 목질계 바이오매스의 발열량을 20 GJ/dry-t이라고 한다면 그 에너지량은 634 PJ로 일본의 1차 에너지 공급량 23.0 EJ(1999년)의 2.8%를 차지하고 있는 것이다. 그러나 현재 에너지로서 이용되어지고 있는 것은 일부분에 지나지 않는다. 이것은 실용화 단계에 있는 바이오매스의 에너지 변환기술에 비해서 넓은 범위에 분산되어 있는 바이오매스를 경제적으로 수확 운송하는 것이 가능한 기술이 아직 미확립되어 있기 때문이다.

이에 일본에서는 바이오에너지 생산시스템은 그림 6과 같이 잡목림 바이오매스, 간벌재, 임지잔재, 댐유입재 및 폐재 등을 이용하여 현지에서 칩을 생산한다든지 혹은 현지형 및 거치형 톱밥제조기를 이용한 톱밥을 생산하여 펠렛 및 칩으로 가공, 공장까지 운송하는 시스템을 도입하고 있다. 또한 최근 기계화에 의한 생산성 향상을 목표로 보급된 고성능 임업기계를 이용하여 이런 바이오매스의 수집 및 운송을 계획 연구하고 있으나 아직까지는 많은 경제적인 문제를 가지고 있다. 특히 그림 7과 같이 완지형에서는 하베스터에 의한 벌도와 칩퍼부착 포워더로서 작업도상

에서 칩으로 생산하는 과정 및 임도상에서 칩으로 생산하여 공장으로 운반하는 시스템이 있다. 또한 그림 8과 같이 급경사지에서는 타기종보다 1일 생산량이 높으며, 고성능 임업기계인 타워야더에 의한 수확작업시스템을 이용하고 있다(全國林業改良普及協會, 2001).

그러나 목재 생산시 발생하는 많은 양의 말구목 및 가지 등의 재생 가능 바이오매스는 산업폐기물로 취급되어, 야외에서 소각처분이 불가능하다는 것을 고려한다면 산림바이오매스 자원으로 그 위치를 확고히 할 수 있다는 결론이 나오게 된다.

또한 일본의 산림바이오매스의 이용의 특징은 지역주민이 함께 그 지역 산림자원의 이용 비전을 검토하고 주민과 학교 기업이 동시에 참가하여 지역에 있는 산림 바이오매스자원을 지역 스스로가 개발 이용하고 있다는 것이다. 그림 9와 같이 지역 新에너지 비전 정책을 통해 지역 산림자원의 이용 사이클을 구체화하여 효율적인 산림자원의 이용을 추진하고 있다.

비록 아직까지는 경제적이고 현실적인 이득이 없는 상태이지만 정부주도의 신 에너지 정책하에 장래를 위한 환경적이고 합리적인 산림이용의 고도화를 추진하는 일본의 산림 바이오매스이용 방안은 미래의 대체에너지 개발 및 산림자원의 경쟁력강화를 위해 매우 고무적인 사실이 아닐 수 없다(오재현, 2003).

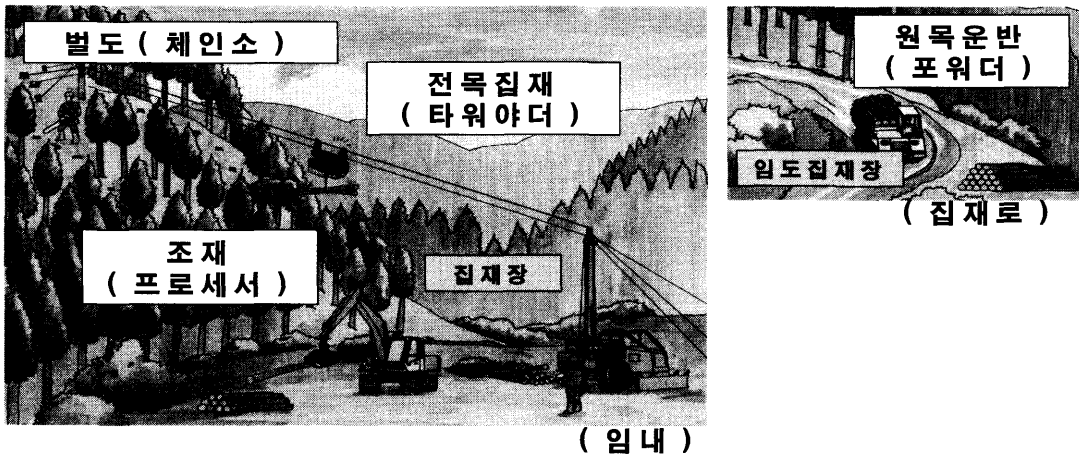


그림 8. 타워야더에 의한 집재작업 시스템의 예

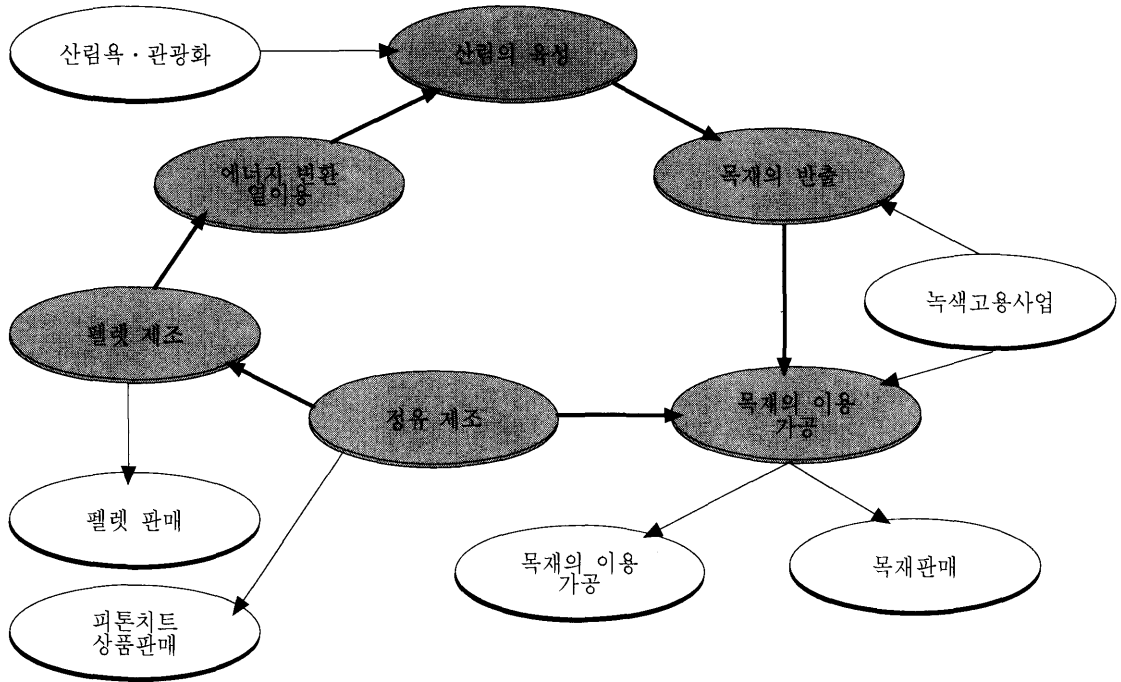


그림 9. 지역 산림자원이용 사이클 예

3. 유럽연합(EU)와 각국

EU 차원의 바이오에너지 연구개발은 JOULE (비핵 신재생에너지 연구개발)과 THERMIE(신에너지 기술의 실증, 활용, 보급) 프로그램에서 이루어지고 있다. JOULE 프로그램의 중요 지원 대상 과제는 유럽연합 역내에 바이오매스 자원이 많으므로 향후 장기적 에너지 공급에 큰 역할을 기대하며 가용자원의 조사 및 확보, 보급 타당성 조사, 정책연구에 주력하고 에너지 작물재배(갈대 등), 소규모 가스화 발전기술, 수수로부터 에탄올 생산기술 개발 등을 병행하고 있다.

THERMIE 프로그램에서는 바이오매스 가스화 발전을 1990년~1994년에 걸친 계획의 핵심 목적과제로 선정하여 추진한 바 있으며, 산업 및 도시폐기물의 메탄가스화 및 퇴비화 보급, LFG 발전기술 실증, Biodiesel 생산기술 실증, 그리고 바이오매스 가스화 발전 기술의 실증 등의 대형과제를 선정하여 집중적으로 투자를 하고 있다.

프랑스는 특히 바이오에너지 기술개발에 주력하여 1983~1988년간 남서부의 Soustons(수스

통)에 발효조 규모 30m³의 목질계 에탄올 Pilot Plant를 건설하여 요소기술을 확보하였고 그 공장은 현재 Cellulase (당화효소, 상표명 Safizym)를 생산하고 있으며 당화효소 생산기술의 향상 등을 계속적으로 도모하고 있다. 한편, 축산폐기물의 혐기발효 기술은 상용화 단계이고 도시폐기물 메탄가스화 기술도 개발하여(Gaz de France, Valorga process) Amien시에 설치하였고 타국에 기술수출도 하고 있다. 바이오연료의 실용화 부문은 목재연료의 보급에 주력하여 가정은 물론 상업부문으로 공급을 확대하려고 하고 있으며, 유채유를 에스테르화한 바이오디젤, 에탄올은 시범보급 중이며 ETBE (에탄올과 부틸렌에서 생산)는 Elf사가 년산 75,000톤 규모의 공장을 건설 상용화 하였다. 프랑스는 농업 생산국으로 유채유는 Biodiesel, 밀, 사탕무우 등은 에탄올, 목질계 바이오매스는 일단 바이오 고체연료 생산이라는 방향으로 기술개발을 진행하고 있다.

이탈리아는 바이오 가스 생산 (메탄발효 140여기), 바이오매스 가스화 발전 (10-100kW 급)

은 보급단계, 목질계 폭쇄 전처리 및 발효 에탄올 생산은 연구단계에 있다. 스페인은 바이오매스 연소기기의 설계, 제조 부문에서 많은 실적을 갖고 있으며 목질계 에탄올 연구에도 참여하고 있다. 독일, 네델란드, 핀란드 그리고 특히 덴마크는 축산폐기물은 물론 도시 유기성폐기물을 반응기를 이용하여 메탄가스화하거나 LFG를 이용하여 에너지 생산과 폐기물 처리를 하는 기술의 개발에 주력하여 현재 기술은 실증되었고 보급단계에 와 있다. 독일은 대규모의 천연가스 복합발전이 천연가스의 경쟁력부족과 EU가 인정한 장기보조금 시스템의 결핍으로 계속지체되고 있는 반면 소규모 바이오매스 발전방식에 많은 관심이 쏠리고 있다. 지난 2001년 6월부터 독일에서 발효된 새로운 바이오매스 규정으로 시설 및 장비공급업체 사이에 바쁜 움직임이 일어나고 있다. 이는 최고 20MW 용량의 발전소에 관한 법하에서 바이오매스 발전소에서의 발전량에 관한 가격을 보장하는 것 까지 확대함에 기인한다. 보장된 최소가격은 0.5MW 까지는 20pf/kWh, 5MW 까지는 18pf/kWh, 20MW 이상 규모에서는 17pf/kWh 이며, 가격지원은 개별 프로젝트당 최고 20년간 보장하고 있다.

덴마크에서는 1970년대에 있었던 1차 오일쇼크를 계기로, 원자력 발전에 의존하지 않고 재생 가능한 에너지에 의한 에너지 자급권(自給圈)을 형성해 왔다. 시민들이 자발적으로 참여하였다. 또한 바이오매스 이용을 늘리기 위해서, 석탄연료에는 높은 세율의 에너지세, CO₂세, 유황세를 물

리고 있다. 바이오매스 수확을 위한 작업시스템은 체인톱 또는 펠러번처로 벌목하고 칩 하베스터로 칩핑작업을 하면서 작업을 진행하여, 임내에서 칩을 칩셔틀이라고 불리는 트랙터의 뒤에 장착된 컨테이너에 싣고 트럭 컨테이너가 있는 산지집재장까지 왕복운반을 한다(그림 10). 벌목은 간벌의 경우 열상간벌을 하고 개별의 경우는 칩핑작업이 손쉽도록 한방향으로 벌도방향을 정한다. 칩의 공도운반은 산림작업과 별도의 트럭회사가 소유하고 있는 컨테이너, 트랙을 이용하고, 약 40m³의 컨테이너를 보통 한번에 두개를 연결하여 운반한다. 히팅 플랜트 또는 저장소까지 운반할 수 있다. 보통 30~40km 정도를 운반하지만, 운반거리가 150km에 달하는 경우도 있다. 칩의 소비가 매년 바뀌고, 칩의 수확이 안되는 시기가 있기 때문에, 칩의 저장도 안정공급을 위해서는 중요한 공정으로 고려하고 있다.

덴마크에서는 칩을 이용하여 지역에 온열을 공급하는 히팅 플랜트가 1984년에는 3개소 밖에 없었으나 1999년에는 약 50개소에 달하여, 칩 소비량은 725,000m³l.v.¹⁾이며, 1,800TJ의 에너지가 된다. 히팅 플랜트는 현재 각지에서 건설중이거나 작업을 시작하였다. 플랜트의 건설과 유지에 대하여, 풍력 등의 재생가능 에너지를 위한 그린-에너지세를 재원으로 하는 정부의 보조가 있다.

그림 11은 칩만을 이용하는 가장 간단한 구조의 히팅 플랜트의 처리과정을 보여주고 있다. 이것에 폐기물처리의 보일러가 더해지기도 하며, 스팀으로 증기터빈을 돌릴 수 있게 되면 발전기능

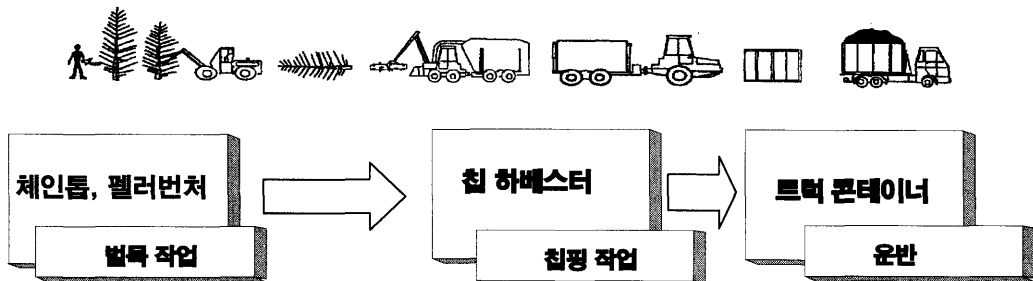


그림 10. 덴마크의 칩제조 시스템

1) l.v. (loose volume) : 압축되지 않은 상태의 칩 재적을 의미하며, 원목재적의 약 35%로 환산한다.

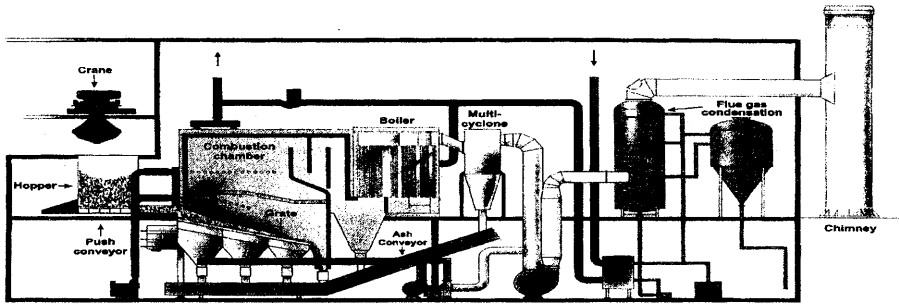


그림 11. 히팅 플랜트

을 더하게 된다. 온수는 지역을 순환하여 플랜트에 되돌아온다. 기계의 고장은 매우 중요한 문제이므로 보일러, 펌프 등은 2계통으로 되어 있다. 천연가스의 보조 플랜트를 가지고 있는 곳도 있으며, 수요가 적은 여름은 천연가스로 전환하여 사용하기도 한다. 터빈은 영국산, 컨트롤 룸은 미국의 기술이지만 플랜트 건설의 주체는 덴마크이며, 타국에 의존하지 않는 것도 덴마크의 강점이다.

4. 국내기술개발 현황

국내의 바이오에너지 기술개발은 1988년 대체에너지 기술개발 계획이 수립되면서 본격화 되어 왔다. 이전의 같은 분야 연구개발은 왕겨탄 및 연소기 개발, 축산 폐기물 메탄발효 부문에서 연구개발이 수행되어 왔으며 왕겨탄은 상업화 되었고, 축산폐기물 메탄발효 기술은 산업폐수 처리과정(특히 주정폐수 등)으로 이전되어 결실을 보았다.

1988년 이후에는 전분 및 목질계 에탄올 생산기술 개발과 고율 메탄발효공정 개발에 치중되고 있는데 전분계 에탄올 연속생산 기술개발은 1kl/일 규모의 Pilot Plant가 성공리에 운전되며 완성단계에 있으며, 목질계 에탄올 생산기술 개발은 1993년 이후 체계를 갖추어(이전에는 기초연구) 20l/일 규모의 PDU가 건설·운전되고 있다.

고율 메탄발효 공정은 혐기성 여상공정이 상용화되고, UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket: 상향류 슬러지층상) 공정은 100톤급 Pilot 연구가 완료되고 상업화 연구를 착수하게

되었다. 메탄발효 공정은 투자여력이 있는 산업체에 보급되어 왔으며, 앞으로 축산이 기업화하고 환경규제도 나날이 엄격해 짐으로서 축산폐기물에도 본격적 대형 플랜트 형태로의 보급이 필요한 시점이다.

한편, 유럽에서 활발히 연구되어 보급단계에 있는 폐기물 메탄가스화 기술은 기초 및 응용연구가 이루어 졌다(출연연구 사업). 한편, LFG 발전기술도 적용 타당성이 검토된 바 있다. 이외의 바이오디젤 생산 및 이용, 바이오 수소생산, 미세조류에 의한 CO₂ 고정화기술(청정에너지 기술개발)이 기초연구 된 바 있다.

국내의 바이오매스 가용자원 조사연구는 에너지기술연구소에서 수행된 바 있으며(출연연구 사업), 전분계 에탄올의 수송연료용 보급 타당성이 조사된 바 있다. 에너지 작물재배 기술, 바이오매스의 가스화에 이은 연료생산 혹은 발전기술 개발은 시도된 바 없으며 다만 폐기물 분야에서 하수 슬러지의 열분해에 의한 액체연료 생산이 연구개발 된 바 있다.

우리나라 바이오에너지 분야 연구개발은 1988년 대체에너지 기술 개발을 착수한 이래 총 55개 연구과제가 수행되었으며 총연구비 119억7,300만원이 투입되었다. 총투자비중 정부가 64억 1,500만원, 민간이 55억 5,800만원을 투자하여 민간부담 비율이 46%정도이며 비록 과세수는 많지만 바이오 에탄올 연구분야에 60%, 혐기발효 분야 및 여타 기초기술 연구분야에 약40%의 재원이 집중적으로 배분되었다.

표 18. 바이오 에너지 주요기술별 국내외 비교요약(에너지기술연구원 자료)

기술분야 및 세부기술명	국외 기술 현황		국내 기술 현황	
	주요개발 국가명	개발단계	주관기관명	개발단계
전분질계 에탄올연료 (가소홀, ETBE 포함)	미국 (38억kl/년), 브라질 (120억 kl/년) 프랑스 (7만 톤/년)	상용화	알콜산업조합 삼성Eng.	개발연구 (1kl/년파일로트)
목질계 에탄올 연료	미국 (300 l/일) 프랑스(30m ³ 발효조) 일본 (150 l/일)	개발연구	에너지기술(연)	응용연구 (20 l/일 PDU)
메탄발효기술	EU국가군, 일본 미국	상용화	현대Eng. (여상발효조) 대우건설 (UASB) 거신(LFG활용)	상용화 보급시험 (500톤급) 타당성 조사
혐기발효 유기성 폐기물 처리	프랑스,독일, 핀란드, 네델란드,벨지움, 이탈리아 등 (100톤/일 규모) 일본 (규모미상)	보급 (실용화)	에너지기술(연)	개발연구
바이오매스 가스화 발전	EU국가군, 브라질 (MW급 파일로트)	개발연구		미착수
바이오디젤	프랑스, 이탈리아, 오스트리아, 독일, 벨지움, 체코 (수만톤/년 규모)	상용화	두원정공	기초연구
바이오 수소생산	일본	응용연구	이화여대	기초연구
바이오 고품연료	프랑스, 스페인, 스웨덴	상용화	에기연, 왕겨탄제조업체	상용화 (년 약90,000톤)
에너지 작물재배	미국, EU국가군 (10년이상 재배시험)	개발연구		미착수
생물학적 CO ₂ 고정화	미국, 일본	기초연구	생물공학(연)	기초연구

결론

현재 국내의 산림바이오매스 자원이 1차 에너지 공급에 기여할 수 있을 만큼 제반적인 공급 시스템과 제도적인 문제, 사회인들의 인식부재 등으로 현실감이 다소 떨어지기는 하지만, 산림바이오매스에 요구되는 역할은 화석자원의 대체에너지라기보다도 화석자원에 대한 보완적인 에너지로서 이런 산림바이오매스의 에너지 이용이 중산간지역의 활성화, 또한 침엽수 인공림과 미이용

활엽수림의 시업 촉진, 그리고 고용촉진이라는 면에서 산림바이오매스 이용의 중요한 의의가 있다고 하겠다.

또한, 산림바이오매스 에너지가 수확·운송비용의 측면에서 현실적인 어려움이 있는 것이 사실이지만 산림바이오매스의 에너지이용이 에너지효율의 관점에서 문제가 없으며, 이산화산소 배출량의 면에서도 화석자원과 상당한 비교우위를 점하고 있는 점을 볼 때 국내의 도입에 있어서도 위의 사실을 강조하면서 비용절감을 위한 기술개

발에 노력하도록 하여야 할 것이다. 또한 외국의 사례에서와 같이 바이오매스 이용경비에 대해서는 운송경비가 차지하는 비율이 높은 점을 감안할 때 임도와 같은 산림내 기반정비의 디자인과 기술개발이 산림공학분야의 연구자와 기술자의 과제라고 생각된다.

또한 구체적으로 산림바이오매스의 활용을 촉진하기 위해서는 산원지에서의 생산단계부터 1차 가공에 이르는 단계가 수요자의 조건에 맞도록 그 접근 가능성이 제시되어야 할 것이며, 목재칩 및 톱밥의 경우에는 부산물이 생산되는 인근에서 곧바로 생산되어야 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났으며, 이러한 경제적 타당성을 위해서는 이동식 치퍼와 같은 장비의 활용이 요구된다고 할 수 있다.

육림부산물과 같은 바이오매스의 1차 가공 산업의 활성화를 위해서는 우선 임산자원을 활용할 수 있는 정부정책이 선행되어야 하며, 장비의 효율 개선이 시급하므로 정부차원의 장비구입비 보조 및 국산장비개발을 위한 지원이 요구되며, 산지에 방치되거나 방치될 우려가 있는 육림부산물의 수집 및 활용을 촉진하기 위한 산림법의 개정이 요구된다.

또한 임지잔재를 에너지원의 하나로 기대하기 위해서는 노동생산성이 선진임업국에 비해 낮은 국내에 있어서 산림바이오매스의 발생량의 규모가 다르다는 사실을 확실하게 인식할 필요가 있으며 행정기관에서는 국민에게 국내의 산림자원과 환경을 지키기 위해서는 국산재를 이용하도록 보급, 홍보활동을 펼침으로 목재의 자급률 향상을 목표로 할 필요성이 있다. 건전한 목재생산의 장

래성이 보이지 않는 한, 산림바이오매스의 이용은 이루어질 수 없다는 것을 잊지 말고 모든 임업인이 하나가 되어 노력할 필요가 있을 것이다.

인용문헌

1. 김기원. 2004. 국내 산림바이오매스 현황과 잠재력. 강원대학교 산림과학연구소 “산림바이오매스의 이용과 전망” 2004년 국제심포지움 발표논문집: 43-60.
2. 서영완, 차두송. 2002. 육림부산물을 이용한 톱밥 생산성 분석에 관한 연구. 학술림연구 22: 51-57.
3. 오재현. 2003. 일본의 산림바이오매스 이용. 산림공학기술 1(1) : 53-55.
4. 차두송, 홍순일, 최정기, 서영완. 2003. 육림부산물의 효율적인 수집 및 활용방안에 관한 연구. 2003년도 농림계 특성화 대학 강원도 지원 연구과제 결과보고서. 강원대학교 산림과학대학: 46-125.
5. 차두송, 오재현. 2004. 산림폐잔재의 효율적 수집 및 활용방안. 산지폐잔재관련 세미나 자료집. 1-28.
6. Yoshioka, T. 2004. 일본에 있어서 삼림·목질바이오매스 자원의 현황과 문제. 강원대학교 산림과학연구소 “산림바이오매스의 이용과 전망” 2004년 국제심포지움 발표논문집: 35-42.
7. 全國林業改良普及協會. 2001. 森のバイオマスエネルギー. 森のセミナー-No. 7. pp55.