

## 국내 목질바이오에너지의 경제적 타당성과 도입전략

최 돈하<sup>1)</sup>, 이 성연<sup>2)</sup>, 손 영모<sup>3)</sup>, 박 경석<sup>4)</sup>

### Economic Feasibility and Introducing Strategy of Woody Bioenergy in Korea

Don-Ha Choi, Seong Youn Lee, Yeong Mo Son, Kyung Seok Park

Key words : growing stock(임목축적), Forest tendering(숲가꾸기), Wood chip(목질칩), Economic Feasibility(경제성)

Abstract : Total forest growing stock and growing stock per ha in Korea are  $470 \times 10^6 \text{ m}^3$  and  $73 \text{ m}^3$ , respectively. Those figures mean that forest growing stock was increased 4.7 times more during last 30 years. The annual production of forest biomass comes from forest tending executed by Korea Forest Service was estimated about  $1.07 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ M/T}$ , which was equivalent to 0.45% of total imported crude oil of Korea at 2002. The production is expected to increase and reach up to  $1.9 \times 10^6 \text{ M/T}$  till 2008. The analysis of economic feasibility showed that the production cost of wood chip(134,786Won/T) was about 30,389 Won/T higher than heat value of wood chip, 104,397 Won/T estimated from that of kerosene. For the promotion of forest bioenergy utilization, more efforts need to be given for the education and public relations to induce publicity a willingness-to-pay for the environment friendly fuels under the good understanding for the use of bioenergy. In addition, we need to provide a community-based biomass utilization program by region to allocate the role of each participant and to increase the profitability of bioenergy.

### 1. 서 론

화석자원에 의존한 대량생산 및 소비를 추구하는 현재의 사회시스템은 과도한 화석자원의 이용으로 지구온난화와 각종 공해물질의 범람 등과 같은 심각한 환경문제를 야기하여 우리의 생존 자체를 위협하고 있다. 이러한 환경적 위협을 해결하기 위해 지속가능한 사회 혹은 순환형 사회라는 새로운 사회 시스템구축에 대한 논의가 활발히 진행 중에 있다. 그러므로 순환형 사회의 구축을 위해서는 현재 우리가 사용하고 있는 화석자원을 대체할 새로운 자원의 발굴과 이용이 요구되는데 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 자원중의 하나가 바이오매스 자원이다.

바이오매스(biomass)라고 하는 것은 생물자원(bio)의 량(mass)을 나타내는 개념으로 「재생가능한 생물유래의 유기성 자원으로써 화석자원을 제외한 것」을 통칭하는 용어이다. 바이오매스는 지구상에 비치는 태양에너지를 사용하여 무기물

질인 물과 이산화탄소로부터 생물이 광합성 작용을 통해 생성하는 유기물로써 우리들의 life cycle 중에 생명체와 태양이 존재하는 한 지속적으로 재생산이 가능한 자원이다.

바이오매스의 연소에 의해 방출되는 이산화탄소는 생물의 생장과정 중 광합성에 의해 대기 중에서 흡수한 이산화탄소이므로 바이오매스는 전 이용과정에 있어서 대기 중의 이산화탄소 양을 증가시키지 않는 「탄소 중성(carbon neutral)」이

#### 1) 국립산림과학원

E-mail : cdonha@foa.go.kr  
Tel : (02)961-2581 Fax : (02)961-2588

#### 2) 국립산림과학원

E-mail : leeferas@foa.go.kr  
Tel : (02)961-2632 Fax : (02)961-2639

#### 3) 국립산림과학원

E-mail : treelove@foa.go.kr  
Tel : (02)961-2537 Fax : (02)961-2530

#### 4) 국립산림과학원

E-mail : PARK2637@foa.go.kr  
Tel : (02)961-2890 Fax : (02)961-2639

라고 불리는 특징을 갖고 있다. 그러므로 화석자원 유래의 에너지나 제품을 바이오매스로 대체한다면 온실가스의 하나인 이산화탄소의 배출을 크게 줄여 지구온난화 방지에 크게 기여할 수가 있다.

1970년대의 석유과동 등으로 인해 바이오매스의 새로운 이용에 관한 전반적인 연구개발과 실용화를 위한 방안이 실시된 적도 있지만 그 후 석유가격의 하락 등으로 인해 바이오에너지는 현재 우리 생활에 많이 이용되지 않고 있다. 그러나 이제 바이오매스의 사용이 석유의 대체라는 자원 경제적 관점에서 벗어나 우리가 살 수 있는 환경적 여건의 개선을 위해서 유일한 해결의 방안으로 간주되어야 할 시점이다. 따라서 석유에너지 대체자원으로 대두되고 있는 바이오매스 중 현재 가장 이용가능성이 높은 산림 바이오매스의 활용을 위한 자원량 및 경제성과 이들의 보급 확산을 위한 기반조성에 관한 내용을 살펴보고자 한다.

## 2. 우리나라의 목질 바이오매스 생산 가능량

### 2.1 국내 임산 바이오매스 부존량

우리나라 산림은 조선시대말의 임업정책의 공백, 일제시대의 임목자원 수탈, 한국전쟁과 그 후의 사회혼란기를 거치면서 많은 부분이 황폐화되었으나 1970년대부터 지속적인 조림 및 사방사업과 산림보호사업 등이 성공적으로 마무리되면서 오늘날과 같이 성숙된 산림을 가지게 되었다. 산림이 성숙함에 따라 임목축적(forest growing stock)도 크게 증가하여 현재 우리나라 산림의 총 임목축적은 2003년 말 현재 468,168천m<sup>3</sup>이고, 단위면적당 임목축적량은 73m<sup>3</sup>/ha로 30년 전인 1974년(15.4m<sup>3</sup>/ha)에 비해 약 4.7배 이상의 임목축적이 증가되었으며<sup>3)</sup> 우리나라의 전체 산림의 바이오매스는 나무의 지상부위인 줄기가 286×10<sup>6</sup>톤, 뿌리와 같은 지하부가 197×10<sup>6</sup>톤으로 전체는 483×10<sup>6</sup>톤인 것으로 추정된다<표1>.

### 2.2. 숲가꾸기 사업에 의한 목질 바이오매스 생산 가능량

1970~1980년대 집중 조림으로 국내 산림면적의 70%이상인 약 2,150천ha가 30년생 이하의 생장이 왕성한 청년기 나무가 심어져 있다. 이 시기 산림의 기능발휘를 최대화하고 투자효율성을 제고하기 위해서는 산림을 기능별로 적정하게 관리하기 위한 숲가꾸기 사업이 매우 필요하다.

그래서 산림청에서는 국내 산림 중 경제적 이용대상이 되는 3,218천ha의 산림 중 1988년부터 2003년까지 약 1,005천ha에 숲가꾸기 사업을 완료하였으며, 2004년부터 향후 5년간 1,000천ha의 산림에 대한 숲가꾸기를 실시하고 나머지는 2013년까지 완료하는 것으로 계획하고 있다.

향후 5년간의 숲가꾸기 사업 대상지의 전체 산림축적은 83.7백만m<sup>3</sup>으로 추정되며, 이중 30%를 간벌한다고 가정할 때, 생산이 예상되는 총 임목축적은 25.1백만m<sup>3</sup>이다. 이를 2003년도 말 현재 우리나라 전체 영급별 임목축적 구성비를 적용시켜보면, 즉, 용재로서의 가치가 떨어지는 40년생 미만 나무(3영급)와 용재로서의 쓰임새가 많은 40년생 이상 나무(4영급)의 비율인 “64 : 36”을 축적에 각각 적용하면, 3영급이하가 16.1백만m<sup>3</sup>, 4영급 이상이 9백만m<sup>3</sup>의 목재가 생산될 것으로 예상된다.

이렇게 생산되는 임목 중 3영급 이하의 소경재는 20%정도가 건축재 등의 용재로 이용되며, 80%가 연료용으로 사용된다고 가정하고, 4영급 이상은 축적의 80%가 용재로, 20%가 연료용으로 이용된다고 가정하면, 전체 연료로이용이 가능한 목재량은 5년간에 총 14.7백만m<sup>3</sup>이 생산될 것으로 추정된다<표2>.

숲가꾸기 대상 임분의 구성 수종은 대부분 잣나무, 낙엽송, 소나무, 상수리나무와 같은 참나무류로 구성되어 있으므로 이들의 대표적 구성비를 적용하여 추정한 각 연도별 바이오매스 생산

<표 1> 산림유형별 바이오매스 생산량 (2003년 말)

산림 유형	줄기재적 <sup>1)</sup> (천m <sup>3</sup> )	전건비중 <sup>2)</sup> (톤/m <sup>3</sup> )	줄기 바이오매스 (천톤)	지상부 <sup>3)</sup> 확장계수	뿌리/지상부 <sup>3)</sup> 현존량	전체 바이오매스 (천톤)
	A	B	C=A×B	D	E	F=C×D×E
침엽수림	201,064	0.47	94,500	1.29	1.28	156,039
활엽수림	124,774	0.80	99,819	1.22	1.41	171,709
혼합림	142,330	0.64	91,091	1.26	1.35	154,946
전 체	468,168		285,410			482,694

주 1 : 산림청, 임업통계연보, 2004.

2 : 임업연구원, 1994. 우리나라산 주요 목재의 성질과 용도.

3 : 김갑덕 등, 1988. 국내 삼림바이오매스 생산에 관한 연구와 동향.

<표 2> 숲가꾸기 사업에 의한 연차별 연료 이용가능 임목축적

단위 : 천m<sup>3</sup>

연 도	숲가꾸기대상 임목축적	간벌재 생산량	3영급 이하 간벌재	4영급 이상 간벌재	연료이용 가능 임목축적
	A	B=A×0.3	C=B×0.64	D=B×0.36	E=(C×0.8)+(D×0.2)
2004	11,747	3,524	2,255	1,269	2,058
2005	13,969	4,191	2,682	1,509	2,447
2006	17,422	5,227	3,345	1,882	3,052
2007	19,590	5,877	3,761	2,116	3,432
2008	20,976	6,293	4,027	2,265	3,675
계	83,704	25,112	16,070	9,041	14,664

량은 2004년에 약 1.1백만톤, 그리고 2008년에는 약 1.9백만톤이 생산 될 것으로 추정된다. 이를 우리가 사용하고 있는 원유량으로 계산하면 목질 연료인 신탄재의 경우 기건상태에서의 발열량은 4,500Kcal/kg으로 원유 1kg의 열량 10,000Kcal와 비교할 때 약 45%의 발열량을 갖게 되므로<sup>7)</sup> 2004년도 숲가꾸기 작업에 의해 생산되는 바이오매스를 원유로 환산하면 482천TOE로써 2002년도 원유 수입분의 약 0.45%에 해당한다.

### 3. 목질 바이오에너지의 경제성 분석

#### 3.1. 연료용 목재 칩의 총 제조비용

연료용 목재 칩의 총 제조비용은 원목을 임도변까지 수집하는데 소요되는 수집비용, 원목을 파쇄기가 있는 곳까지 운반하는데 소요되는 운반비용, 파쇄기를 이용하여 원목을 목재 칩으로 파쇄하는 비용, 그리고 생산된 목재 칩을 산촌 농가에 공급하는데 소요되는 운반비용으로 구분하여 칩 1톤 제조비용을 산출하였다.

칩 1톤 제조를 위한 원목의 수집비용은 31,011원/톤이고 수집 산물을 임도변에서 상차하여 칩공장까지 운반하는 비용은 54원/제<sup>2)</sup>로 가정하였다. 원목의 목재 칩 파쇄비용은 10,007원/톤으로 목재파쇄기를 정부의 무상보조로 구입하여 사용하는 경우로 가정하였다. 목재 칩은 생산설비 인근에서 사용하는 것으로 가정하여 생산된 칩을 소비자에게 운반하는 비용은 일반적으로 원목운반비의 절반인 8,412원/톤으로 추정하였다. 그리고 이러한 작업을 수행하는데 따른 시설 및 인건비 등의 고정경비 및 적정 이윤을 고려하여 고정비용 및 이윤으로 총 생산경비의 30%를 적용할 경우 목재 칩 총 제조비용은 1톤당 93,786원인 것으로 분석되었다.

#### 3.2. 열량대비 연료용 목재 칩의 경제성 분석

일반적으로 주택에서는 등유보일러 혹은 가스보일러를 사용하고 있다. 이러한 보일러 대신에 목재 칩을 이용하는 보일러를 사용하기 위해서는 적절한 목재 칩의 공급가격이 중요하다. 특히 목재 칩을 이용한 보일러가 사용되는 곳을 주택으로 가정하면 가정용 난방유류인 등유에 대응한 가격 경쟁력을 갖추어야 목재 칩이 연료로 이용이 가능하다.

목재 칩 1m<sup>3</sup>이 가지고 있는 열량은 등유 76ℓ에 상당한 것으로 알려지고 있다<sup>11)</sup>. 이것을 등유 가격으로 환산하면 목재 칩 연료가격의 상한치는 톱발용 원목가격 41,000원/톤(산림조합)을 포함<sup>9)</sup> 해서 1톤당 134,786원이 되는 것으로 나타났다. 그러나 목재 칩을 보일러용 연료로 사용할 경우 기존의 등유나 가스보일러보다는 편리성이 낮고 또한 목재 칩을 보관하기 위한 별도의 여유 공간이 필요하며, 목재 칩을 보관하는 중에 발생하는 감소와 함수율의 변화로 인한 열량손실 등의 비용을 보전하기 위해 30%의 여유분을 가정하면 등유로 대체할 수 있는 목재 칩의 연료적 가치는 등유의 70%로써 목재 칩 1톤의 가격은 104,397원이 적정할 것으로 분석되었다.

그러므로 열량을 기준으로 환산하였을 때 목재 칩의 연료적 가치는 목재 칩을 생산하는 비용보다 낮아 경제성이 없다. 그러므로 목질 바이오매스를 신·재생에너지로 보급을 촉진하기 위해서는 관련 부처간의 협의를 통해 목재 칩 1톤당 30,389원, 목재 칩 1m<sup>3</sup>당 10,065원을 최소한 지원해 주어야 하는 것으로 분석되었다.

그러나 목재 칩을 대량으로 생산할 수 있는 자동화된 제조설비를 갖춘 공장을 각 지역의 수요에 맞게 설치 가능하여 공급이 이루어진다면 제조비용을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 목질 바이오에너지 도입을 위한 전략적 체계

##### 4. 1. 목질 바이오에너지 이용에 관한 국민적 이해 도출

바이오매스 종합적 이용시스템 구축을 위해서는 개개인의 이해와 협력이 필요하다. 그렇게 하기 위해서는 목질 바이오에너지의 친환경적 기능에 대한 국민적 합의의 창출이 요구되므로 목질 바이오매스를 에너지원이나 제품 원료로 적정히 순환 이용하는 것이 지구온난화를 방지한다는 사실에 관해 홍보를 강화하기 위해 각 분야의 수요에 걸맞은 정확하고 다양한 정보를 축적한 정보시스템의 구축이 요구된다.

##### 4. 2. 바이오매스 이용을 위한 전체 시스템 설계

바이오에너지이용 바이오매스의 지속적 이용과 경제성 확보를 위해서는 생산 및 수집과 이를 효율적으로 변환하고 이용하는 시스템의 유기적 결합이 요구된다. 특히 바이오매스는 소량이 넓은 지역에 존재하기 때문에 무엇보다도 그 지역의 실정에 맞는 순환시스템을 구축하는 것이 필요하다. 그리고 바이오매스의 효율적 이용을 위해서는 바이오매스 생산현장과 이용현장의 유통과정을 적시에 파악할 수 있는 모니터링 체계의 확립이 요구된다.

또 바이오에너지 이용 시스템 설계 시 물질수지 등의 평가를 위한 전과정 평가(Life Cycle Assesment) 수법을 확립하여 보급함과 동시에 시스템 전체 설계와 효율적 수행을 위해서 이 분야의 전문적인 지식을 가진 인력들의 적극적 참여와 활용이 요구된다.

##### 4. 3. 이해 관계자의 역할 분담 및 조정

국가, 지방공공단체, 바이오매스 공급 및 이용자 등은 각자의 역할을 분담하여 효율적인 시스템이 되도록 하여야 한다. 즉 중앙정부는 바이오매스의 이용에 관한 기본전략 수립 및 지원책을 강구하고 필요에 따라 제도를 제개정하는 한편 이에 대한 정보를 사전에 제시함으로써 기업 활동에 참고가 되게 하며, 각 부문간의 바이오매스 이용에 관한 실효성 제고를 위한 업무조정 역할을 하는 것이 바람직하다. 지자체는 그 지역자원이 그 지역에서 완벽히 활용될 수 있도록 지방산업의 에너지 자급이나 고용 확보 등을 통해 지역 활성화를 도모하고 중앙정부와 연대한 바이오매스 이용에 대한 지역사회의 합의 형성을 추진하는 한편, 바이오매스 공급 및 이용자는 바이오매스 생산성을 향상시켜 에너지 생산을 위한 비용절감에 노력해야 한다. 또 지역 바이오매스 이

용을 위한 환경 NGO 등의 활동을 효과적으로 지원함으로써 지역 주민들의 적극 참여를 유도하는 것이 필요하다.

##### 4. 4. 바이오매스 이용을 위한 경쟁조건의 정비

바이오에너지 시장의 최종 목표는 자유 경쟁적인 민간기업 활동에 의해 운영되도록 하는 것이나 초기 일정기간은 바이오매스 관련 산업의 자립을 위한 중앙 및 지방 정부의 선행 투자나 장기적인 지원책이 요구된다. 특히 이러한 바이오에너지 생산과 같은 분야는 현재 작동 중인 사업 모델이 없기 때문에 민간 사업자가 이 사업에 참여하는 것을 주저하는 원인이 되고 있다. 그러므로 대응 모델사례를 구축하여 그 보급을 촉진하는 방안을 마련해야 하는데 모델사례의 구축 시 선행 리스크 경감을 위한 지원조치 등을 강구하면서 일정 지역에서 종합적인 바이오매스 이용 시스템의 구축을 하나의 실증실험으로 행하는 것이 필요하다. 그리고 정부 지원의 경우 관계부처간의 중복 투자를 피하고, 중점적인 지원과 관계부처 간 지원책에 있어서 차별이 없도록 하는 배려가 필요하다.

## 5. 결 론

우리나라 산림의 총 임목축적은 2003년 말 현재 4억 7천만 $m^3$ 이고, 단위면적당 임목축적량은 73 $m^3/ha$ 로 30년 전에 비해 약 4.7배 이상의 임목축적이 증대 되었다. 이를 바탕으로 추정한 국내 산림 내의 목질 바이오매스 총량은 지하부를 포함하여 약 4억 8천만톤이 존재하며 그 중 지상부의 바이오매스 총량은 약 2억 9천만톤인 것으로 계산되었다. 이들 산림 중 산림청에서 2004년부터 향후 5년간 실시하는 숲가꾸기 사업으로 인하여 발생하는 목질 바이오매스 중 바이오에너지로 이용이 가능한 양은 원유로 환산하면 482천TOE로써 2002년도 원유 수입분의 약 0.45%에 해당하는 약 107만톤이 생산된 것으로 추정된다. 그리고 이러한 바이오에너지 자원은 매년 약 20만톤씩 생산이 증대하여 2008년도에는 약 190만톤의 목질 바이오에너지 자원이 생산 될 것으로 예상된다. 목질 바이오에너지의 경제성 분석을 한 결과 목재 칩 생산비용은 134,786원/톤으로 열량대비 목재 칩의 적정가격인 104,397원/톤에 비해 30,389원이 비싼 것으로 나타났다. 그러므로 목질 바이오에너지 이용을 확대시키기 위해서는 목질 연료 칩 1톤 당 약 30,400원 정도의 지원이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 이는 현재의 유가를 기준으로 한 경우이고 앞으로의 유가가 상승하면 지원금액은 크게 줄어들 수가 있다.

목질 바이오에너지는 화석연료에 비해 아직 경제성은 없지만 국가에너지 안보와 기후변화 협약에 따른 온실가스 감축을 위한 사회경제적 비용을 감안하면 대체에너지로서의 목질 바이오에너지 이용 확대가 바람직하다. 그러기 위해서는 친환경 연료인 목질 바이오에너지의 이용확대에 필요한 사용자들의 추가지불의사(willingness to pay)를 유도하기 위한 홍보강화로 목질 바이오에너지 이용에 관한 국민적 이해 도출이 우선되어야 한다. 또한 지역 내의 자발적인 호응을 도모하기 위한 정보제공과 바이오매스 이용에 관한 신기술, 우량사재를 소개하여 보급하고 바이오매스 이용에 의욕을 가진 지역공동체 등을 대상으로 시설 보급이나 설비 개발과 기술지도 등에 대한 종합적 이용촉진 대책 실시와 실증실험으로 바이오매스 이용에 적합한 자원 순환형 community를 형성하기 위한 실증실험과 모델 구축에 모든 관련 부처가 일체가 되어 지원해야 할 필요가 있다.

#### 6. 참고문헌

1. 김갑덕, 김철민. 1988. 국내 삼림바이오매스 생산에 관한 연구와 동향. 임산에너지

- 지 8(2) : 94-107.
2. 김의경, 정상기. 2000. 국산재 생산-공급 체계구축을 위한 합리적 방안연구. 산림청.
3. 산림청. 2004. 임업통계연보 제 34호.
4. 산림청. 2003. 숲가꾸기 산물의 경제적 활용방안에 관한 연구.
5. 산림청. 2003. 2002년 기준 산림기본통계보고(내부자료).
6. 산림청. 2003. 숲가꾸기 5개년 추진계획(내부자료).
7. 산업자원부. 1999. 에너지이용합리화법 시행규칙 2조 별표1.
8. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 연구자료 제95호.
9. 최돈하 등. 2002. 발효처리에 의한 목질계자원의 조사료화. 농림부 농림기술개발사업보고서.
10. NEDO. 2003. 바이오매스에너지 도입 가이드북.
11. 中川重年. 2001. 森のバイオマス利用-アイデア集. 全國林業改良普及協會.