

## 산림 사업지 바이오매스를 이용한 화석연료 대체효과

손영모\* · 이경학 · 서정호 · 권순덕

국립산림과학원

## Substitution Effect of Fossil Fuel using Biomass produced by Forest Treatment

Yeong Mo Son\*, Kyeong Hak Lee, Jeong Ho Seo and Soon Duk Kwon

Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

**요 약:** 숲가꾸기 사업에 의해 산출되는 바이오매스 자원과 상업적 벌채지에서의 미이용 잔존 임목 바이오매스 등의 이용은 신고유가 시대에 바이오에너지원으로 각광받을 수 있을 것이다. 이점에 착안하여 이들 사업지에서의 바이오매스 자원량 계산 및 화석연료와의 대체 가능성에 대하여 구명해 보았다. 2005년 연간 숲가꾸기 사업지 면적은 294,115 ha이며, 이중 수집되는 물량은 143,747 m<sup>3</sup>, 이를 바이오매스 및 발열량으로 전환하면, 115천톤, 533,199 Gcal이다. 그러나 숲가꾸기 후 임내에 잔존하는 가지, 잎, 초두부 등 잠재공급가능한 물량은 2,483천톤이며, 등유 환산가는 약 11,133억원에 이른다. 이는 숲가꾸기에 의해 실제 수집되는 산물의 약 20배에 달하는 화석연료 대체효과를 갖는 양이다. 그리고 용재로서 임목을 이용하기 위한 상업적 벌채지의 미 이용 잔존 바이오매스량은 475천톤, 발열량으로 전환시키면 2,206,235 Gcal이 되며, 실내등유가로 환산하면, 2,211억원으로, 이 역시 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원이 된다. 친환경적이며 재생가능한 자원으로서 임목 바이오매스의 화석연료 대체효과에 관심을 가질 시점이다.

**Abstract:** The use of forest biomass resources produced by forest tending and residual forest biomass that was not gathered on commercial thinning or cutting area was estimated to be come into the spotlight as bioenergy sources in these days of new high oil price. With considering these problems, This study was investigated about possibility with biomass calculation and convertibility to fossil fuel in these area. Total forest tending area in the year 2005 was 294,115ha and the yield gathered from these area was 143,747 m<sup>3</sup>. It is equivalent to biomass of 115,000 ton and caloric value of 533,199Gcal. However, the potential and additional yield that is residual in forest stands was 2,483,000 ton. It is equivalent to 11,133 billion won of oil which is 20 times of the actual yield produced by forest tending. Therefore, these amount of biomass has a substitution effect of the fossil fuel. Moreover, the residual biomass that is not gathered at commercial thinning and cutting area was 475,000 ton. It is equivalent to 2,206,235 Gcal of heating value and about 2,211 billion won of oil. This potential amount could be a new energy source to be a substitution effect of fossil fuel. It is time to be interested in the forest biomass as a renewable and environment-friendly resource and its substitution effect of fossil fuel.

**Key words :** forest tending, biomass, forest fuel, heating value

### 서 론

우리나라 숲은 국민의 삶의 질이 높아짐에 따라 숲이 가진 휴양, 맑은 물과 깨끗한 공기 공급 등 공익기능이 중시되고 도시지역에 대한 숲의 수요가 증대되고 있으며, 백두대간 등 주요 숲의 생태계 보전과 건강성 제고에 대한

국민적 합의가 형성되고 있는 시점이다. 그러나 1970-80년대 집중 녹화된 침엽수 단순림을 제때에 가꾸어 주지 못해 각종 재해에 취약하고 종다양성이 떨어져 건강성이 악화되고 있으며, 건기 시 강풍, 우기 시 국지적 집중호우 등 근래의 이상 기후로 인해 산불 대형화와 대규모 산사태 발생 확률이 높아지고 있다. 또한 녹화는 되었지만 이용할 수 있는 자원으로서의 가치는 아직 낮은 수준으로 숲의 단위면적당 축적(2005년말 현재)이 일본 171 m<sup>3</sup>, 호주 300 m<sup>3</sup>, 스위스 368 m<sup>3</sup>인 것에 비해 우리는 79.2 m<sup>3</sup>에 불과하다(FAO, 2007). 현재 우리 숲은 성장이 왕성한 30

\*Corresponding author

E-mail: treelove@foa.go.kr

이 논문은 한국에너지기술연구원 위탁연구(2005.12-2006.12) 수행 중 일부임

년생 이하의 청년기 나무가 약 60%로서 지속적으로 가꾸어 주어야 할 시기로 시급히 가꾸어야 할 숲 면적은 약 200만ha로 추정되고 있다(산림청, 2003; 손영모, 1998).

한편 국제적으로 UNFF, UNFCCC, 몬트리올프로세스 등 지속가능한 숲 관리의 국가적 실천체계 구축에 대한 국제적 압력이 증가하고 있으며, 기후변화협약에 따른 탄소흡수원으로서 숲의 경영·관리 필요성에 대한 국제적 관심이 고조되고 있다. 이에 미국, 일본 등 선진국에서는 2000년 이후 특히 재해와 공익적 측면에서 숲가꾸기를 중심으로 하는 정책을 추진하고 있다(林野廳, 2005; U.S. 2003). 우리도 이제 숲의 기능발휘를 최대화하고 투자효율성을 제고하기 위하여 숲을 기능별로 적정하게 관리해야 할 시기이며, 지방분권화 시대를 맞이하여 지역별 특성과 여건에 맞는 숲을 가꾸기 위해 시·군별 숲가꾸기 정책의 차별화가 필요한 시점이다. 또한 이러한 숲가꾸기에 의한 산물의 효율적인 이용은 새롭게 도래한 고유가시대의 화석연료대체 및 기후변화협약에 대응하기 위한 탄소배출 억제의 효능까지 있어 중요한 문제이다(국립산림과학원, 2006; 손영모, 2006, 2007). 특히 산림 작업 시 나오는 산물을 화석연료 대체용으로 사용함은 재생가능한 자원의 이용측면에서 요즘 각광받고 있는 신재생에너지원으로서의 충분한 가능성이 있다고 생각한다.

따라서 현재 우리나라 숲에서 이루어지고 있는 숲가꾸기 사업과 상업적벌채 작업에서 생산되는 산물의 바이오매스 전환 및 이 물량이 어느 정도의 화석연료를 대체할 수 있는 지에 대해서 조명해 보고자 한다.

**재료 및 방법**

**1. 분석에 이용된 자료**

분석에 이용된 산림자료는 전국적으로 발생하는 숲가꾸기 사업지의 면적 및 수집되는 산물량에 대한 산림청 집계자료가 가장 기본이 되었고, 상업적 벌채지에서 수집되어 반출 이용된 임목을 제외한 잔존물, 즉 초두줄기부분, 가지, 잎 등의 바이오매스 자원 분석을 위하여 산림기

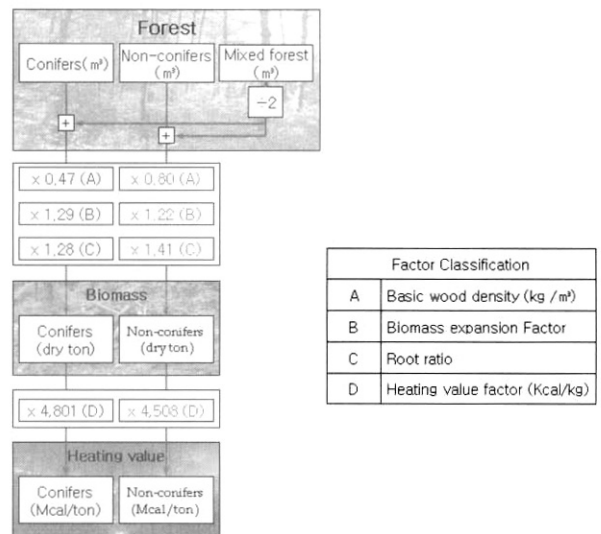


Figure 1. Conversion system of biomass and heating value of products by forest treatment districts.

본통계 상 별채량 자료가 추가 이용되었다. 이러한 물량(재적 또는 축적)을 바이오매스 및 화석연료로의 대체효과 가늠 척도인 발열량으로 전환시키기 위하여 바이오매스 확장계수 및 발열량<sup>1)</sup> 전환계수를 이용하였다. 활잡림은 편의 상 아래 계수들의 평균값으로 계산하였다(김규현 등, 1998; 손영모, 2006).

- 임목 바이오매스(Kg) = 임목재적(m<sup>3</sup>)× WD<sup>2)</sup>×BEF<sup>3)</sup>×R
- 임목 바이오매스 발열량(Kcal) = 임목 바이오매스×HVF<sup>5)</sup>

여기에서, 바이오매스 및 발열량으로 전환할 수 있는 임상별 각 계수들의 값은 아래와 같다.

임 상	목재기본 밀도	지상부 바이오매스 확장계수	뿌리 함량비	발열량 전환계수
침엽수	0.47	1.29	1.28	4,801
활엽수	0.80	1.22	1.41	4,508

**2. 분석체계**

숲가꾸기 사업지에서 발생하는 산물의 바이오매스 및 발열량 추정을 위한 분석 절차는 다음과 같다(손영모, 2006).

<sup>1)</sup> 발열량은 수종별로 중량 1 kg의 바이오매스가 완전 연소할 시 나타내는 열량으로, 연료로서의 바이오매스 성능을 측정할 수 있으며, 일반적으로 발열량이 클수록 효율이 좋다. 또한 발열량은 목질계 바이오매스를 화석연료와 대체할 수 있는 잠재가능성을 분석할 수 있는 자료이므로 중요한 위치를 갖는다. 목질계 바이오매스 원소분석자료를 이용한 발열량의 이론적 계산식은 다음과 같다.

발열량(Kcal) = (0.34)×탄소(%) + (1.44)×[수소(%) - 산소(%) / 8] + (0.0094)×황(%)

<sup>2)</sup> 목재기본밀도(Basic Wood density, WD) : 목재내부의 공극과 수분을 포함한 단위부피당 무게에 대한 개념으로 목재 재질을 판단하는 주요한 요소로 “전건중량/생체부피(kg/m<sup>3</sup>)”로 표현

<sup>3)</sup> 지상부 바이오매스 확장계수(Biomass Expansion Factor, BEF) : 임목 수간(줄기) 대비 지상부를 구성하는 가지, 잎 등의 비율로 “지상부 전체 바이오매스/수간 바이오매스”로 표현

<sup>4)</sup> 뿌리함량비 또는 지하부 바이오매스 확장계수(Root Ratio, R) : 임목 지상부 전체 대비 지하부 즉, 뿌리가 차지하는 비율로 “임목 전체 바이오매스/지상부 바이오매스”로 표현

<sup>5)</sup> 발열량 전환계수(Heating Value Factor, HVF) : 임목 전체 바이오매스를 화석연료화하기 위한 측량단위로 “임목 바이오매스(kg)/발열량(Kcal)”으로 표현

## 결과 및 고찰

## 1. 숲가꾸기 사업에 따라 실제 수집되는 바이오매스 추정량

2005년 우리나라 숲가꾸기 사업지면적은 총 294,115 ha이며, 이 사업지에서 이루어지는 풀베기, 덩굴제거, 어린 나무가꾸기, 솎아베기, 천연림보육 등의 작업에 의해 발생

되는 물량 <Table 1>에 나타나 있듯이 143,747 m<sup>3</sup>이고, 이를 바이오매스 및 발열량으로 전환하면, 115천톤, 533,199 Gcal 이다(산림청, 2006). 이를 다시 실내등유가<sup>6)</sup>로 환산하면 513억원으로 나타났다. 박경석 등(2003)에 의하면 2004년부터 5년간의 숲가꾸기 사업 시 솎아베기에 의한 연료재 생산 총 수집가능량을 12.3천m<sup>3</sup>, 약 10천톤 정도

Table 1. Actual collected biomass produced by forest tending.

City/Province	Forest tending area (ha)	Collected products (m <sup>3</sup> )	Biomass (ton)	Heating value (Gcal)
Total	294,115	143,747	114,556	533,199
Seoul	1,639	54	43	200
Busan	2,183	870	693	3,227
Daegu	1,382	140	112	519
Incheon	677	547	436	2,029
Kwangju	170	120	96	445
Daejeon	2,811	3,449	2,749	12,793
Ulsan	3,260	1,786	1,423	6,625
Gyeonggi	23,219	25,952	20,682	96,264
Gangwon	51,524	34,731	27,678	128,827
Chung buk	24,951	10,400	8,288	38,577
Chung nam	30,581	18,256	14,549	67,717
Jeon buk	18,993	12,106	9,648	44,905
Jeon nam	52,757	12,533	9,988	46,489
Gyeong buk	42,931	13,481	10,743	50,005
Gyeong nam	35,821	8,842	7,046	32,798
Jeju	1,216	480	383	1,780

\*Source; Korea Forest Service, 2006.

Table 2. Estimation of potential biomass products by forest tending.

City/Province	Forest tending area (ha)	Potential biomass products (green weight, ton)	Biomass (ton)	Heating value (Gcal)
Total	294,115	5,089,626	2,483,737	11,560,567
Seoul	1,639	22,274	10,870	50,593
Busan	2,183	8,038	3,923	18,257
Daegu	1,382	21,913	10,694	49,773
Incheon	677	9,545	4,658	21,681
Kwangju	170	3,201	1,562	7,272
Daejeon	2,811	61,639	30,080	140,006
Ulsan	3,260	45,756	22,329	103,931
Gyeonggi	23,219	396,743	193,611	901,162
Gangwon	51,524	939,619	458,534	2,134,249
Chung buk	24,951	450,928	220,053	1,024,237
Chung nam	30,581	499,770	243,888	1,135,176
Jeon buk	18,993	315,612	154,018	716,880
Jeon nam	52,757	963,383	470,131	2,188,227
Gyeong buk	42,931	748,210	365,126	1,699,482
Gyeong nam	35,821	572,854	279,553	1,301,179
Jeju	1,216	30,141	14,709	68,462

\*Source : Forest Tending Team, Korea Forest Service, 2005.

<sup>6)</sup>1,000 Kcal(=1 Mcal) 발열량 발생 시의 단가 : 실내등유 96.3원, 도시가스 51.6원 (2005년말)

될 것을 보고한 바 있는데, 이는 숲아베기 후 용재로 이용되고 남은 양 만을 계산하여 전망한 결과이므로 다소 낮은 수치라 보여 진다.

**2. 숲가꾸기 사업에 의한 잠재 생산가능한 바이오매스 추정량**

숲가꾸기 사업에 의해 실제 수집되는 물량(현재 산림청 추정으로는 숲가꾸기사업 산물의 약 11%정도 수집) 뿐만 아니라 숲가꾸기 후 일부 산물이 수집되고 남은 가지, 잎, 뿌리 및 용재로 이용되지 못하는 작은 줄기 등 숲 내 많은 바이오매스가 방치되는데, 이를 모두 수집한다고 가정하고 잠재공급가능한 양까지를 계산한 것이 <Table 2>이다. 공급잠재량은 2,483천톤이며, 등유 환산가는 약 11,133억 원에 이른다. 이는 숲가꾸기에 의해 수집되는 산물의 약 20배에 달하는 화석연료 대체효과를 갖는 양이다.

숲가꾸기 사업 작업형태별 바이오매스 물량 및 발열량을 계산한 결과는 <Figure 2~3>과 같다. 바이오매스량은 천연림보육에 의해 생산되는 양이 가장 많으며, 다음이 숲아베기, 어린나무 가꾸기 순으로 나타났다.

숲가꾸기 사업에 의해 실제 수집되는 산물과 잔존하여 남아있는 산물과는 현격한 차이가 있다. 따라서 숲가꾸기 후 숲에 방치되는 바이오매스 산물 수집체계 구축 및 이용방안 등에 대하여 정부 뿐만아니라 국민들도 적극적인 관심을 가져야 할 때이다. 이에 산림청은 산림내 방치되는 숲가꾸기 부산물을 바이오에너지용 원료로 공급하고 신재생에너지보급 확대를 위해 「바이오매스 수집단」을

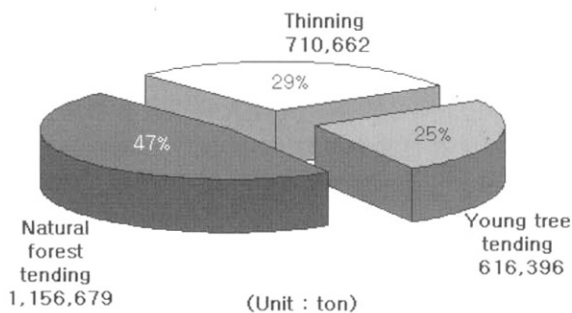


Figure 2. Biomass by working type in forest tending.

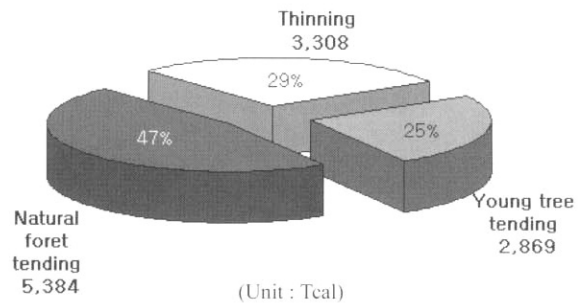


Figure 3. Heating value by working type in forest tending.

신규 운영하기로 하고 2007년 3월부터 수집 작업에 착수하고 있고, 수집된 산물은 해당 지자체에서 바이오에너지 용 연료 또는 각종 목질보드와 펄프·칩의 원료 등 산업용 원자재로 매각하게 되며, 그 재원은 산림환경개선사업 또는 국산재 이용촉진사업에 재투자 된다고 밝힌 바 있어 다행스러운 일이라 생각된다(산림청, 2003).

실제적으로 숲에서 생산되는 바이오매스자원을 에너지 원으로 활용하게 되면 지역단위의 소규모 터빈에 의한 전력생산 및 열 공급뿐만 아니라, 농촌지역의 고용을 증대시켜 지역경제 활성화에 기여, 국내 재생가능한 자원을 사 용함으로써 에너지 확보, 지속적인 바이오매스 생산과 에너지 이용으로 대기중의 CO<sub>2</sub>농도 억제, 유향을 포함하지 않는 바이오매스 이용에 의해 대기오염을 완화 등 여러 가지 친환경적인 부수적 효과를 얻을 수 있을 것이다.

**3. 상업적 벌채에 따른 잔존 바이오매스 량**

우리나라 숲에서 연간 상업적으로 이용하기 위하여 상당량의 임목이 벌채되고 있다. 이는 주로 건축재, 가구재, 표고 골목 등으로 이용되는데, 주로 흉고직경이 20 cm 이상되는 것만을 이용하므로, 이 이외의 부분은 그냥 숲 내에 방치되고 있다. 2005년 한해 우리나라 숲에서 상업용으로 벌채 이용되고 남은 잔존물에 대한 바이오매스 양 및 발열량을 계산한 값은 <Table 3>과 같다.

2005년 한 해 동안 목재를 상업적인 용도로 이용하기 위하여 벌채되는 임목의 재적은 1,731천m<sup>3</sup>이었으며, 이용되는 목재 외에 초두부, 가지, 잎 등 산림 내에 잔존하는

Table 3. Inner forest surviving biomass and heating value produced by commercial cutting.

Classification	Commercial cutting (1,000m <sup>3</sup> )	Coefficient of utilization	Basic wood density	Aboveground biomass expansion factor	Inner forest surviving biomass (천ton)	Inner forest heating value (Gcal)
Conifers	1,223	0.85	0.47	1.29	298	1,387,042
Non-conifers	508	0.85	0.80	1.22	177	823,847
Total	1,731				475	2,206,235

<sup>7)</sup> 이용계수(Coefficient of utilization); 이용계수라 함은 임목수간 중 이용가능한 재적의 구성비를 말하며, 0.85는 수간재적 중 85%는 이용되고 나머지 15%는 임내에 폐잔재로 버려짐을 의미함

바이오매스 양을 계산하기 위해서 다음의 절차를 거쳤다 (대한민국정부, 2003).

$$\begin{aligned} & \text{상업적 이용재적 외 잔존 바이오매스 (ton)} \\ & = \text{벌채재적(천 m}^3\text{)} \times \text{이용계수}^7(1-0.85) \times \text{목재기본밀도} \\ & \quad \times \text{지상부 바이오매스 확장계수} \end{aligned}$$

(여기에서, (1-0.85); 임내 잔존물 재적, 확장계수; 지상부의 확장계수, 그리고 뿌리는 이용하지 않음을 가정)

이런 절차를 거쳐 계산된 상업적 벌채지 잔존 바이오매스량은 475천톤이었고, 발열량으로 전환시키면 2,206,235 Gcal이 된다. 이를 실내등유가로 환산하면, 2,211억원으로, 이 역시 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원이 된다.

앞서 숲가꾸기 사업을 통한 산물과 상업적 벌채 후 잔존물을 이용하는 화석연료 대체효과를 언급하였다. 우리가 여기서 간과하지 말아야 할 한 가지가 있는데, 이는 공익적 가치이다. 즉 숲에서의 바이오매스를 이용하는 것은 화석연료를 대체할 수 있는 경제적 가치이나, 숲 내에 방치되어 임산물이 부패되면, 이는 바로 기후변화협약에서 지적하는 탄소배출이 된다. 이를 가구재, 건축재로 이용한다면, 탄소를 그대로 고정하는 것이 될 것이고, 연료로 이용한다 함은 그만큼의 화석연료를 덜 소비하는 것이므로 온실가스를 감축시키는 이중적 효과를 가진다는 것이다.

## 결 론

본 연구는 숲가꾸기 사업지와 상업적 벌채지에서의 바이오매스 양을 계산하고 이를 화석연료로 대체할 수 있는 가능성을 타진해 본 결과로서 이를 요약하면 다음과 같다.

사업지에서의 물량은 재적으로 계산되므로 이를 바이오매스 및 발열량으로 전환하기 위해 이용된 계수는 기후변화협약 대응 국가보고서 작성 시 이용하였던 계수를 그대로 이용하였다. 2005년 숲가꾸기 작업 총 면적은 294,115 ha였으며, 이 사업지에서 산출되는 바이오매스 및 발열량은 115천톤, 533,199 Gcal였고, 이를 실내등유가로 환산하면 약 513억원 정도 되는 것으로 추정되었다. 그런데 이 물량은 실제 수집된 물량이어 작업 후 산림 내 잔존하는 모든 물량은 바이오매스로 환산하면 2,484천톤 정도 되며, 이는 실내등유가 약 11,133억원에 이르는 아주 많은 양이다. 이 물량은 실제 수집되는 양의 약 20배에 달하여 산림 내 잔존 부산물 수집체계 수립 및 실제 수집의 시급성을 알리는 계측 수치라 볼 수 있다.

상업적 벌채지에서 실제 용재목으로 이용되고 남은 잔

존 바이오매스량은 475천톤이었고, 이를 발열량으로 전환시키면 2,206,235 Gcal이 된다. 이는 실내등유가 2,211억원으로 이 역시 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원이 될 수 있을 것이다.

IMF사태 이후 사회적 일자리 창출을 위하여 거국적으로 시작된 숲가꾸기는 이제 거의 10년의 역사가 되었으며, 사업의 노하우 역시 많이 구축된 상태이다. 그러나 앞서 언급한 바 있으나, 산물의 약 11% 정도의 수집 등 수집체계의 미비, 유통, 이용방안 등이 제대로 자리를 잡지 못한 실정이다. 산물의 이용성에 대하여는 경제적, 환경적 가치 측면에서 이제는 정부 뿐만아니라 NGO, 산업체 등에서도 적극적인 관심을 갖고 모자란 부분을 채워가야 할 것이며, 국민들의 시각도 숲을 휴양의 개념에서 상생하는 자원으로 바라보아야 할 시점이다.

## 인용문헌

1. 국립산림과학원. 2006. 기후변화협약 발효와 신고유가 시대 대비 목질바이오에너지 이용 및 보급촉진. 국립산림과학원 2006 목질계 바이오에너지 학술심포지엄. 118p.
2. 김규현 외 11인. 1998. 산림의 온실가스 저감방안. 임업연구원 연구자료 143호. 205pp.
3. 대한민국정부. 2003. UN 기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서. 113p.
4. 박경석, 최돈하, 이성연, 손영모. 2003. 산림사업의 공적 관리 시스템 강화 및 임산바이오에너지를 활용한 대체 에너지 보급. 임업연구원 연구보고 '03-13. 169p.
5. 산림청. 2003. 숲가꾸기 5개년 추진계획. 51p.
6. 산림청. 2006. 숲가꾸기 산물 수집 통계. 산림청 숲가꾸기팀 내부자료.
7. 손영모 등. 2006. 산림 바이오매스 지도구축을 위한 연구. 한국에너지기술연구원 위탁과제 최종보고서. 55p.
8. 손영모. 2006. 산림 바이오매스 탄소계수. 국립산림과학원 산림부문 온실가스통계 Workshop III. pp.17-38.
9. 손영모. 2007. 산림 바이오매스의 화석연료 대체효과. 한국임학회 학술발표회 포스터발표.
10. 손영모. 2007. 숲가꾸기 사업 산물의 온실가스 저감효과. 제1회 기후변화협약 대응 연구개발사업 범정부 합동 Workshop. pp.663-672.
11. 林野廳. 2005. 日本 森林林業白書. <http://www.rinya.maff.go.jp/new/hakusyo.html>.
12. FAO. 2007. State of the World's Forest. pp.114-122.
13. U.S. 2003. Healthy Forests Restoration Act.

(2007년 8월 7일 접수; 2007년 11월 13일 채택)