

우리나라 산림 바이오매스 추정

손영모* · 이경학 · 김래현

국립산림과학원

Estimation of Forest Biomass in Korea

Yeong Mo Son*, Kyeong Hak Lee and Rae Hyun Kim

Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 지구환경문제 등의 대두 및 친환경 에너지원으로 산림 바이오매스 자원에 대한 관심의 증폭에 따라 현재 우리나라 산림 바이오매스에 대한 정확한 추정 및 정보 관리프로그램 제작을 위하여 본 연구가 수행되었다. 2005년 말 현재 우리나라 총 산림 바이오매스량은 520,852천톤이며, 이들 중 실제 바이오매스 생산이 가능한 시업지를 대상으로 바이오매스량을 산정한 결과 402,795천톤이었고, 목재이용 가치가 가장 높은 경제림단지에 대한 바이오매스량은 200,768천톤으로 추정되었다. 또한 국내 산림에서 연간 임목의 생장에 의해 생산가능한 바이오매스량을 계산한 결과 20,340천톤이었고, 이를 화석연료로 대체할 수 있는 척도인 발열량으로 전환하여 보면 94,290 Gcal로서, 이를 당시의 실내등유가로 환산하면 약 90억원에 달하는 양이다. 산림 바이오매스의 주기별 변화 추이는 '85년 말부터 '05년 말 현재까지 10년 주기로 4.95%, 5.30%, 4.46%로 '95년을 정점으로 바이오매스 성장율이 감소추세에 있음을 알 수 있었다. 한편 산림축적을 바이오매스로 전환하는 현재의 계수들이 임상별로 되어 있기에 수종별로는 계산이 곤란하므로 이에 대한 계수 개발이 요구되며, 아울러 직경 및 수고 인자 등을 이용하여 바이오매스를 추정하기 위한 함수식 개발도 필요한 시점이다.

Abstract: Forest biomass became a topic because we have growing interest in global environmental issues and environment-friendly energy resources. This study was carried out to estimate the forest biomass and develop a program for biomass information management in Korea. The total forest biomass (million ton) were 521 for gross forest, 403 for productive forest and 201 for commercial forest in 2005. Also, the annual biomass production in forest was 20 million ton which was equivalent to 94,290 Gkcal of heating value and about 9 billion won of paraffin oil. The biomass growing rate (every 10year) increased from 4.95% in 1985 to 5.30% in 1995 but turn down 4.46% in 2005. The factors that the forest stock could be converted to the forest biomass have developed according to forest type. Therefore, it is impossible to estimate the exact biomass by tree species. In this reason, the demands of the development of the factors by tree species was raised. In addition, it is on time to develop an equation for estimation of biomass by species using dbh and height as independent factors.

Key words : forest biomass, biomass management program, biomass growing rate

서론

바이오매스는 나무가 주된 에너지원이던 19세기 이전까지 전 세계적으로 가장 많이 이용된 자원이며, 지금도 저개발 국가일수록 아직까지 상당 부분을 이를 통하여 에너지를 공급받고 있다. 국제적 통계를 보면 현재 약 10% 정도가 목질계 바이오매스를 통한 에너지 공급이 이루어

지고 있으며, 이제는 나무에서 뿐만 아니라 곡물, 농작물 찌꺼기, 축산분뇨, 음식 쓰레기 등이 모두 바이오매스로서의 에너지원이 되고 있는 실정이다(산림청, 2003; <http://energyvision.org>, 2004).

기후변화협약 및 교토의정서 발효 등에 따른 지구환경 문제의 국제적 이슈화 및 신고유가 시대를 맞은 현 시점에서 우리는 다시 친환경적이면서 재생가능한 산림 바이오매스 에너지원에 관심을 가지게 되었으며, 특히 온실가스 흡수원으로서의 이중적 환경효능을 가지는 산림이야말로 시대적 구세주와도 같은 존재가 되고 있다(이경학 등, 2005).

*Corresponding author

E-mail: treelove@foa.go.kr

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

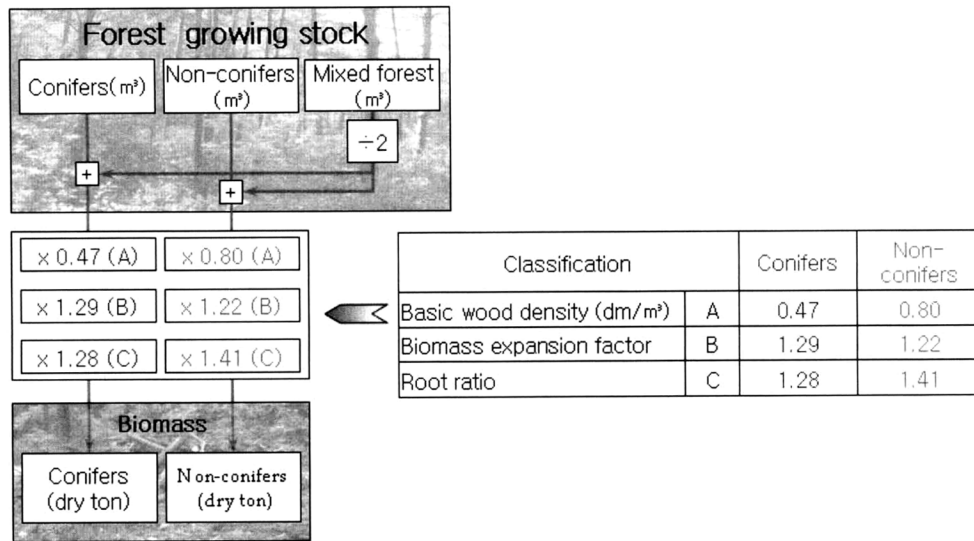


Figure 1. Biomass conversion system of forest growing stock.

우리나라는 그동안 일제강점기와 6.25전쟁 등을 거치면서 산림은 극도로 황폐화 되었으나, 70년대 시작된 치산녹화사업의 성공으로 세계적 유래를 찾아보기 힘든 녹화 성공사례를 가지게 되었다. 그러나 용재로서 이용가능한 산림자원의 부족과 조림 이후 숲을 제대로 가꾸어 주지 못한 관계로 지금까지 휴양적 측면에서 주로 각광을 받았다고 볼 수 있으며, IMF 사태 이후 본격적으로 시작된 숲가꾸기 사업에 의해 우리의 숲이 다시 다른 모습으로 탈바꿈하고 있다. 이 사업에 의해 수집되는 물량만 하여도 상당한 양(연간 약 9만톤)이 바이오매스 에너지원이 되고 있으며, 여러 여건상 실제 수집되지 않고 임내에 존치하는 물량까지 합하면 이 보다 훨씬 많은 바이오매스 에너지원이 발생하고 있다.

바이오매스에 대한 연구는 19세기 초 독일의 유명한 학자인 Hartig는 그의 연구저서에서 바이오매스, 즉 건중량에 대한 중요성을 역설한 바 있다. 그 후 국가차원에서 미국, 일본, 벨기에, 캐나다 등을 중심으로 많은 학술활동이 진행되었다. 특히 캐나다 임산에너지 프로젝트(ENFOR)에서는 산림 바이오매스 조사 표준화를 위하여 일련의 활동과 이에 관련된 많은 문헌을 발표한 바 있다(Pard, 1980; 김영수와 손영모, 2002; 손영모, 1998; 손영모와 이경학, 2002).

우리나라 역시 바이오매스에 대한 연구는 '70년대 이후 지속적으로 이루어져 왔으며, 최근 국립산림과학원에서는 주요 11개 수종에 대하여 뿌리 바이오매스까지를 포함하는 조사 및 연구가 수행된 바 있다. 이에 이러한 자료 등을 이용하여 국내 잠재 이용가능한 산림 바이오매스를 추정하고자 하며, 본 연구의 결과는 FAO, OECD 등에서 요구하는 산림 바이오매스 통계량 제시 등에도 이용 가능할 것이라 생각되므로, 이는 정부차원의 정책

적인 판단이 요구된다.

재료 및 방법

1. 통계 및 분석자료

분석에 이용된 산림통계자료는 국내 산림에 대한 면적 및 축적을 임업통계연보, 산림기본통계 및 경제림단지 등의 산림면적 및 축적 자료를 DB화 하여 이용하였다. 산림축적(forest growing stock)은 크게 침엽수림과 활엽수림으로 구분하였고, 혼효림의 경우 혼효율이 50%인 것으로 가정하여 침엽수림과 활엽수림으로 나누어 합산하였다. 그리고 이를 바이오매스로 전환하기 위한 목재기본밀도(basic wood density)와 바이오매스 확장계수(biomass expansion factor)¹ 및 뿌리비율(root ratio)²에 대한 자료는 국내 주요 침엽수와 활엽수의 평균값을 구하여 적용하였다(산림청, 2006; 손영모, 2006; 이경학 등, 2003).

- 침엽수 바이오매스 : 293,293 (1,000 m³)
 $\times 0.47 \times 1.29 \times 1.28 = 227,614$ (1,000 ton)
- 활엽수 바이오매스 : 213,084 (1,000 m³) $\times 0.80$
 $\times 1.22 \times 1.41 = 293,238$ (1,000 ton)

2. 분석체계

국내 산림의 바이오매스 추정을 위한 분석 절차는 Figure 1과 같으며, 축적 \times 목재기본밀도 \times 바이오매스 확장계수 \times 탄소전환계수로서 계산된다.

¹ 줄기의 바이오매스를 기반으로 가지와 잎의 바이오매스까지 포함된 지상부 바이오매스를 산출할 수 있다.
² 지상부 바이오매스를 기반으로 지하부(뿌리) 바이오매스까지 포함된 임목 전체의 바이오매스를 산출할 수 있다.

결과 및 고찰

가 많은 바이오매스 분포 구성비(전체의 약 45% 이상)를 갖는 것으로 나타났다.

1. 우리나라 산림 바이오매스 추정량

1) 전국 바이오매스 추정

우리나라 산림 전체 축적(2005년 말 현재)을 바이오매스로 전환한 결과 Table 1과 같다. 현재 전체 산림에 대한 총축적은 506,337천m³이며, 이를 바이오매스로 전환하였을 시, 520,852천톤으로 산정되었고, 임상별로는 활엽수가 침엽수 보다 다소 많은 바이오매스량을 보여 주었다. 기본계획구별로는 산림축적과 마찬가지로 강원도, 경상북도

2) 시업지 바이오매스 추정

Table 1의 결과가 우리나라 전체 산림이라면, Table 2는 산림면적 중 숲아베기, 천연림보육, 가지치기 등 시업이 가능한 즉, 실제 바이오매스 생산이 가능한 시업지(5,069천ha)를 대상으로 바이오매스량을 산정한 결과이다. 시업 제한지가 제외된 결과로 바이오매스량은 402,795천톤으로 전체보다 적은 양이며, 기본계획구 중 강원도가 가장

Table 1. Total forest biomass by city and province.

Classification	Total stock (1,000m ³)	Conifers stock (1,000m ³)	Non-conifers stock (1,000m ³)	Total biomass (1,000ton)	Conifers biomass (1,000ton)	Non-conifers biomass (1,000ton)
Total	506,377	293,293	213,084	520,852	227,614	293,238
Seoul	1,111	281	830	1,360	218	1,142
Busan	3,040	1,888	1,152	3,050	1,466	1,585
Daegu	3,680	2,325	1,355	3,669	1,804	1,864
Incheon	2,570	1,117	1,453	2,867	867	2,000
Kwangju	2,023	1,573	450	1,840	1,221	619
Daejeon	1,974	1,282	692	1,947	995	952
Ulsan	4,643	2,408	2,235	4,944	1,869	3,076
Gyeonggi	41,751	20,888	20,863	44,921	16,210	28,711
Gangwon	132,698	66,963	65,734	142,429	51,968	90,461
Chung buk	36,573	22,340	14,233	36,924	17,337	19,587
Chung nam	29,860	18,608	11,251	29,925	14,441	15,484
Jeon buk	37,235	21,503	15,732	38,337	16,687	21,650
Jeon nam	45,733	32,506	13,227	43,429	25,226	18,203
Gyeong buk	104,057	64,873	39,183	104,268	50,346	53,923
Gyeong nam	50,919	31,424	19,496	51,216	24,387	26,829
Jeju	8,512	3,314	5,198	9,725	2,572	7,153

Table 2. Total forest biomass of productive forest by city and province.

Classification	Total stock (1,000m ³)	Conifers stock (1,000m ³)	Non-conifers stock (1,000m ³)	Total biomass (1,000ton)	Conifers biomass (1,000ton)	Non-conifers biomass (1,000ton)
Total	396,483	238,012	158,472	402,795	184,712	218,082
Seoul	-	-	-	-	-	-
Busan	238	159	79	232	123	109
Daegu	422	307	115	396	238	158
Incheon	15	5	10	17	4	13
Kwangju	149	134	15	125	104	21
Daejeon	521	283	238	547	219	327
Ulsan	2,375	1,220	1,155	2,537	947	1,590
Gyeonggi	30,141	16,232	13,910	31,739	12,597	19,142
Gangwon	101,836	53,074	48,762	108,293	41,189	67,104
Chung buk	29,406	18,326	11,080	29,470	14,222	15,248
Chung nam	26,028	16,149	9,879	26,127	12,533	13,595
Jeon buk	29,665	17,472	12,193	30,339	13,559	16,780
Jeon nam	41,876	30,274	11,602	39,460	23,495	15,966
Gyeong buk	88,414	55,979	32,436	88,080	43,443	44,637
Gyeong nam	39,558	25,549	14,009	39,106	19,827	19,279
Jeju	5,839	2,850	2,990	6,326	2,212	4,114

Table 3. Total forest biomass in commercial forest districts.

Classification	Total stock (1,000m ³)	Conifers stock (1,000m ³)	Non-conifers stock (1,000m ³)	Total biomass (1,000ton)	Conifers biomass (1,000ton)	Non-conifers biomass (1,000ton)
Total	193,543	109,279	84,263	200,768	84,808	115,960
Gyeonggi	50,206	28,573	21,633	51,945	22,174	29,771
Gangwon	17,209	8,126	9,084	18,807	6,306	12,500
Chung buk	15,377	6,939	8,438	16,997	5,385	11,612
Chung nam	11,552	6,625	4,927	11,922	5,141	6,780
Jeon buk	17,825	9,800	8,025	18,649	7,605	11,044
Jeon nam	14,480	10,551	3,929	13,595	8,188	5,407
Gyeong buk	47,849	26,736	21,113	49,803	20,749	29,055
Gyeong nam	19,045	11,931	7,114	19,050	9,259	9,790

많은 물량이 생산가능 할 것으로 추정되었다.

3) 경제림단지 바이오매스 추정

우리나라 산림 중 목재이용 가치가 가장 높은 지역을 산림청은 '경제림단지(2,904천ha)'로 지정한 바가 있는데, 본 단지는 어느 산림보다 목재생산 및 시업이 활발할 수 있는 지역이므로, 이 지역에 대한 바이오매스량을 산정해 보았다. 총 바이오매스량은 200,768천톤이고, 이중 침엽수림 84,808천톤, 활엽수림 115,960천톤으로 활엽수 생산가능 구성비가 높았다. 그리고 광역시 등 주변은 경제림으로서의 가치보다 휴양공간의 개념이 강하므로 이 지역에서 제외되었다.

4) 연간 생산가능한 바이오매스 추정

전체적 또는 일부 한정된 지역의 산림 바이오매스 산정의 의미도 중요하지만, 궁극적으로는 연간 어느 정도의 바이오매스를 생산할 수 있는 지도 중요한 문제이다. 따라서 이 정보를 제공할 수 있는 것이 연간 성장량을 바이오매스로 전환한 량이다. 계산은 '00~'05년까지의 연간 평균 축적성장량을 임상별로 나누어서 바이오매스로 전환하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

Table 4에서 연간 총바이오매스 생산가능량은 20,340천톤이며, 서울시 같은 경우는 산림의 도시화 등으로 침엽수림의 경우 산림면적 및 축적의 감소를 가져와 바이오매스 역시 감소하는 것으로 나타났다. 기본계획구 경우 강원도와 경상북도의 잠재생산가능량이 비슷한 경향을 보이는데, 이는 전체 바이오매스량과는 다소 다른 양상을 보인다. 이 원인은 강원도 임상 보다 경상북도 임상의 연간 임목성장량이 다소 좋은 것에서 오는 연유라 생각된다. 그리고 잠재 생산가능한 바이오매스 양을 화석연료로 대체할 수 있는 척도인 발열량(heating value)으로 전환하여 보면, 94,290 Gkal로서, 이를 당시의 실내등유가로 환산하면 약 90억원이므로 현재 고유가를 고려하면, 100억원은 훨씬 상회할 것이다.

Table 4. Annual forest biomass production by city and province.

Classification	Annual forest biomass production (1,000ton)		
	Total biomass	Conifers	Non-conifers
Total	20,340	8,862	11,478
Seoul	76	-2	78
Busan	95	42	53
Daegu	140	73	67
Incheon	168	21	147
Kwangju	68	47	21
Daejeon	83	58	25
Ulsan	196	78	118
Gyeonggi	2,458	740	1,718
Gangwon	3,734	1,383	2,351
Chung buk	1,686	1,250	436
Chung nam	1,567	472	1,096
Jeon buk	2,413	732	1,680
Jeon nam	1,688	980	708
Gyeong buk	3,723	1,884	1,839
Gyeong nam	1,913	968	945
Jeju	332	136	196

2. 우리나라 산림 바이오매스 변화 추이

산림 바이오매스의 주기별 변화를 구명한 결과, '75년 말 현재 116백만톤에서 30년이 지난 현재 521백만톤으로 5배 정도 증가하였으며, 10년 주기별 연간변화율은 '85년 4.95%, '95년 5.30%, '05년 4.46%로 '95년을 정점으로 바이오매스 성장율이 감소추세에 있음을 알 수 있었다. 이는 우리나라 산림의 영급구조가 점차 유령림에서 장령림으로 옮겨 감에 따라 성장의 둔화에서 오는 결과라고 할 수 있겠다.

3. 산림 축적의 바이오매스 전환 상 문제점

현재 산림 축적을 바이오매스로 전환하기 위해서 산림을 임상별(침, 활엽수)로 구분하여 목재기본밀도, 지상부 및 지하부 바이오매스 확장계수 등을 적용하던 것을 수종별로 다양한 계수를 적용할 필요가 있다(IPCC 우수실행

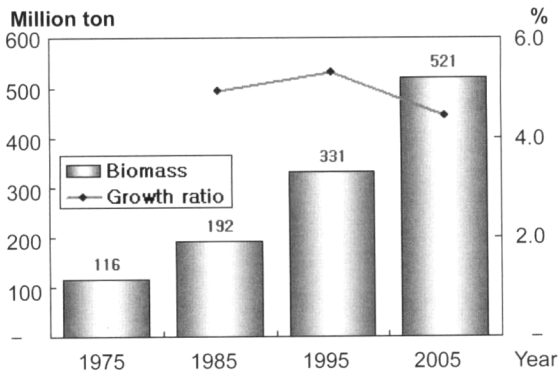


Figure 2. Change trend of forest biomass by year in Korea.

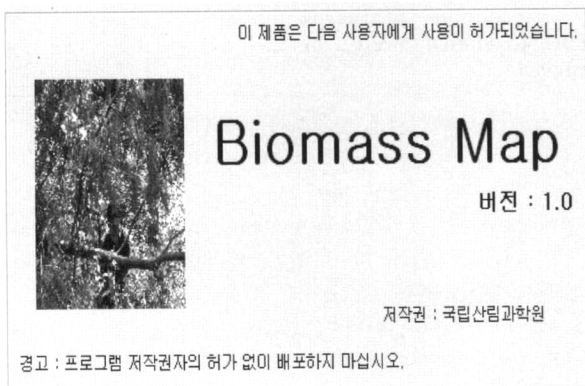


Figure 3. Start scene of Biomass Map program.

지침에서도 권장). 또한 임령별에 따라 계수의 차이가 존재하므로 이에 대한 계수 도출도 요구되며, 특히 상업적 벌채로 인한 바이오매스 변화량 도출을 위한 바이오매스 확장계수(BEF₂) 도출이 요구된다(IPCC, 2003).

또한 현재 국가 차원에서 수행되는 국가산림조사의 축적 자료를 바이오매스로 전환, 활용하기 위하여는 직경 및 수고 인자로서 바로 바이오매스를 추정할 수 있는 바이오매스 추정함수를 개발, 적용하는 방안을 검토해야 할 것이다. 이 방법은 앞서 언급한 계수를 이용하여 생기는 바이오매스 통계치의 불확실성을 감소하는 한 방안이 될 것이다.

4. 산림 바이오매스 관리 프로그램 제작

산림 바이오매스 DB에 대한 관리 및 디지털화된 정보의 제공 등을 목적으로 관리 프로그램이 제작되었다. 본 프로그램은 전국 도, 시, 군, 구의 map data와 바이오매스 관련 DB를 효과적인 관리 및 다양한 형태로 이용할 수 있도록 개별 모듈로 만들었으며, Microsoft Visual Basic 6.0을 기반으로 제작하였다. GIS의 기본적인 기능 및 map data와 바이오매스 DB를 연동하여 관리하기 위한 컴포넌트로는 ESRI MapObject 2.1을 사용하였다. 프로그램은 기본계획구 및 시군구별 바이오매스 및 발열량, 그리고 '75

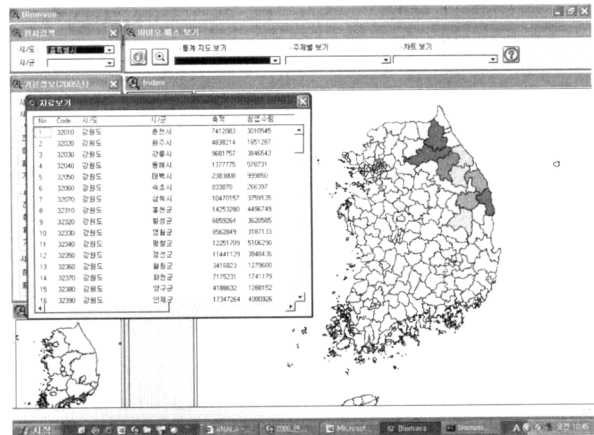


Figure 4. Basic forest biomass scene.

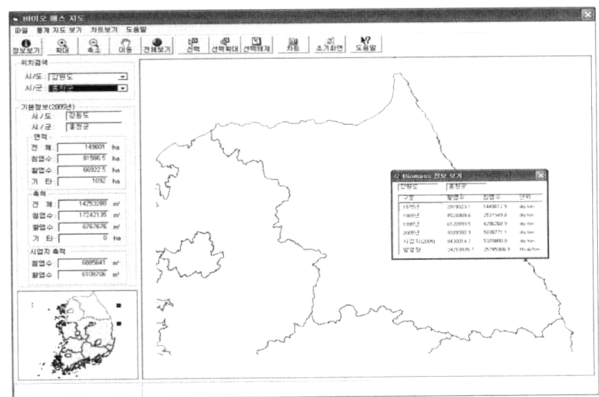


Figure 5. Selected forest biomass scene.

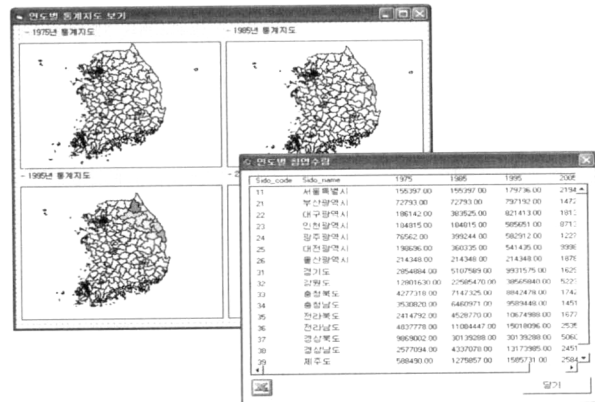


Figure 6. Periodic forest biomass monitoring scene.

년부터 10년 주기별 바이오매스 변화량, 상업적 벌채 및 숲가꾸기 등으로 인한 수집 가능한 바이오매스 및 발열량에 대한 정보 등을 제공한다.

결론

지구환경문제의 대두, 신고유가 시대가 요구하는 친환경적 목질계 에너지원으로서의 산림 바이오매스에 대한

세계적인 관심은 각별하며, 각국은 자국의 기본정책들을 수립하여 변화에 대응하고 있다. 이 시점에서 현재 우리나라 산림에서의 바이오매스 자원량의 추정, 변화 추이 파악 및 정보 관리 프로그램 등을 제작함으로써 정책입안자의 의사결정지원 및 대국민 차원에서 정확한 정보의 제공 등을 목적으로 본 연구가 수행되게 되었다. 또 다른 측면에서 FAO 등에서는 국제적으로 산림 바이오매스에 대한 통계자료를 요구하고 있으나, 지금까지 우리는 통계치를 제시하지 못하여 다소 통계 후진국적인 입장이었다고 볼 수 있다, 따라서 이제 이에 대한 자료원으로서의 역할을 본 연구 결과가 한축을 담당하였음하는 바램이다.

2005년말 현재 우리나라 산림 총 축적은 506,337천m³이며, 이를 바이오매스로 전환하였을 시, 520,852천톤으로 산정되었고, 이들 중 실제 바이오매스가 생산 가능한 시업지(5,069천ha)를 대상으로 바이오매스량을 산정한 결과 바이오매스량은 402,795천톤이며, 기본계획구 중 강원도가 가장 많은 물량을 생산가능 할 것으로 계산되었다. 그리고 우리나라 산림 중 목재이용 가치가 가장 높은 지역으로 선정된 경제림단지(2,904천ha)에 대한 바이오매스량은 200,768천톤으로 추정되었으며, 국내 산림에서 연간 생산가능한 바이오매스량을 계산한 결과 20,340천톤이며, 이를 화석연료로 대체할 수 있는 척도인 발열량으로 전환하여 보면, 94,290 Gcal로서, 이를 당시의 실내등유가로 환산하면 약 90억원이므로 현재 고유가를 고려하면, 100억원은 훨씬 상회할 것이라 보여진다.

산림 바이오매스의 주기별 변화를 구명한 결과, '75년말 현재 116백만톤에서 30년이 지난 현재 521백만톤으로 5배 정도 증가하였으며, 10년 주기별 연간변화율은 '85년 4.95%, '95년 5.30%, '05년 4.46%로 '95년을 정점으로 바이오매스 성장율이 감소추세에 있음을 알 수 있었다. 한편 산림축적을 바이오매스로 전환하는 현재의 계수들이 임상별로 되어 있기에 수종별로는 계산이 곤란하므로 이

에 대한 계수 개발이 요구되고 있고, 계수보다 보다 정도 높은 바이오매스 추정을 위한 함수식 개발도 아울러 요구되는 문제점이 있다. 이 문제는 국립산림과학원에서 연구수행('07~'10)중인 연구과제의 결과로서 어느 정도 극복할 수 있을 것이라 판단된다.

인용문헌

1. 김영수, 손영모. 2002. 캐나다의 산림바이오에너지 연구 동향. 임업연구원 임업정보 135: 19-23.
2. 산림청. 2003. 숲가꾸기 산물의 경제적 활용방안에 관한 연구.
3. 산림청. 2006. 임업통계연보.
4. 손영모, 이경학. 2002. 캐나다의 산림바이오에너지 전략 계획. 임업연구원 임업정보 137.
5. 손영모. 1998. 임목 바이오매스 측정연구의 국제동향. 임업연구원 임업정보 85: 27-31
6. 손영모. 2006. 산림 바이오매스 탄소계수. 국립산림과학원 산림부문 온실가스통계 Workshop III. pp.17-38.
7. 이경학 등. 2005. 지구온난화, 기후변화협약, 산림. 국립산림과학원 연구보고 05-04. 111p.
8. 이경학, 임종환, 배재수, 김중명, 정세경, 손영모. 2003. 임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성. 임업연구원 연구자료 211호. 193pp.
9. Aldred, A.H. and I.S. Alemdag. 1988. Guidelines for forest biomass inventory. Canadian Forest Service, Information Report PI-X-77. 134p.
10. <http://energyvision.org>
11. IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. The Intergovernmental Panel on Climate Change.
12. Pard, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Abstracts Review Article. 41(8): 343-362.

(2007년 8월 7일 접수; 2007년 9월 5일 채택)