

숲가꾸기 사업에서의 산림 바이오매스 발생량 추정(제2보)

– 산림면적 전망에 의한 추정 –

안병일¹ · 이균식² · 김철환^{†3} · 이지영³
(2009년 8월 5일 접수: 2009년 10월 7일 채택)

Estimation of Forest Biomass Arising from Forest Management Operation II

– Estimation based on the projection of forest areas –

Byeong-Il Ahn¹, Kyun-Shik Lee², Chul-Hwan Kim^{†3}, Ji-Young Lee³
(Received Aug. 5, 2009; Accepted Oct. 7, 2009)

ABSTRACT

Forest biomass can be used as various types of raw materials such as pulp, wood pellets, solid charcoals and so on. This paper estimates the nation wide amount of forest biomass based on the projection of forest areas for its effective and economic use. Several trend equations are used in projecting the forest areas. In 2009, the forest biomass arising from thinning is estimated be 6,591,575 m³. The estimates of forest biomass in 2015 and 2018 are 6,375,627 m³ and 6,284,779 m³, respectively. Since the forest areas are projected to be declining, the biomass generated by thinning will decrease. This implies that the new alternatives for supplying raw materials for biofuels must be prepared before then.

• 본 논문은 2009년 산림과학기술개발사업 과제의 지원으로 수행되었습니다.

1 경상대학교 농업경제학과/농업생명과학연구원(Dept. of Agricultural Economics/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

2 경상대학교 농업경제학과 석사과정

3 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Products/IALS)

† 주저자(Corresponding author: E-mail: jameskim@gnu.ac.kr)

Keywords: Forest biomass, pulp, wood pellet, trend equation, projection of forest area

1. 서론

현재 전 세계적으로 급속한 산업화의 유물인 유가 상승과 더불어 지구 온난화 문제는 대체 에너지 확보 및 개발과 자원의 효율적인 활용의 필요성을 부각시키고 있다. 이러한 배경에서 버려지거나 방치되는 자원을 에너지원이나 기타 보다 효율적인 용도로 재활용함으로써 환경 피해를 최소화 하려는 노력의 일환으로 산림 바이오매스의 활용이 매우 중요한 이슈로 주목받고 있다.¹⁾

특히 2005년 2월 기후변화협약에 의해 교토의정서가 정식으로 발효됨에 따라 CO₂ 흡수 저장원인 목재 자원의 순환 이용이 탄소 배출량 저감의 매우 유효한 수단으로 검토되고 있으며, 이에 따라 협의의 의미에서는 목질계 바이오매스의 적절한 활용문제가 중요하게 대두되고 있다.²⁾ 따라서 현장에서 버려지는 산림 바이오매스를 이용하여 목재자원의 이용률을 제고시키는 것은 자원의 효율적인 이용이라는 측면에서 보았을 때 국가경제에 기여하는 바가 매우 크다고 할 수 있다. 특히 한정된 자원에서 얻어지는 산림 바이오매스를 단순히 일차적 단순 처리 공정을 거쳐 연소원으로 이용하는 것보다는 펄프와 같은 산물을 만들면서 얻어지는 부산물을 에너지원으로 함께 활용한다면 훨씬 더 나은 경제적 이용이 가능할 것이다.

국내의 목질바이오매스 활용을 살펴보면 목질바이오매스의 상당부분을 차지하는 각종 부산물은 2005년 기준으로 연간 465만 톤이 발생하여 이중에 산림부산물이 87.7%를 점하고 있으며 각종 개발사업 부산물이 나머지 부분을 차지하고 있다. 목질계 바이오매스는 연간 300만 m³ 이상 생산가능하며, 2006년 기준 목질계 바이오매스 수요량은 126만 4천 톤이었지만 공급량은 발생량의 12.7%인 12만 5천 톤에 불과하다고 한다. 산림 바이오매스의 효율적·경제적 활용을 위해서는 먼저 산림 바이오매스의 발생량 규모가 어느 정도인지를 파악하는 것이 매우 필요한데, 산림 바이오매스의 발생 원인으로는 숲가꾸기 사업, 일반 육림사업, 목재벌채 사업 등이 있다.^{3,4)} 이 중 숲가꾸기 사업은 가장 중요한 산림 바이오매스 발생원으

로써 간벌, 어린나무 가꾸기, 덩굴 제거, 풀베기, 천연림 보육, 기타 사업 등이 있지만 자원으로서의 목질계 바이오매스를 발생시키는 작업은 간벌과 천연림 보육이다. 숲가꾸기 사업에서 발생하는 산물의 대부분은 흉고직경 8-18 cm의 소경재이며, 일부 수집하여 활용되는 사례도 있지만 대부분은 현장에 버려지거나 방치되고 있는 실정인데, 이처럼 숲가꾸기 사업에서 발생하는 산림 바이오매스가 제대로 활용되고 있지 못하는 가장 큰 원인중의 하나는 그 발생량 규모가 정확히 집계되고 있지 않기 때문이다.¹⁰⁾ 국내 산림 바이오매스 발생량을 정확히 예측 가능하다면 산림 바이오매스를 원료로 한 펄프, 바이오연료 등과 같은 용도 개발이 보다 더 적절하게 이루어질 것이다.

산림청에서는 2013년까지 농산촌 주거용 유류 사용량의 7%(약 37만톤), 시설 원예 난방기 유류 사용량의 20%(약 50만톤)를 목재 펠릿으로 대체할 계획을 세우고 있다. 또한 화력발전소의 연료로 석탄과 목재 펠릿을 병용하는 시범 사업을 추진하고 있다. 2009년 4월까지 유통된 목재 펠릿의 60%가 수입품이고, 정부 방침대로 향후 수요처를 확장한다면 국내 임목 축적량을 고려했을 때 수입 의존율이 더 높아 질 수도 있다. 결국 수요와 공급의 불균형은 향후 목재 펠릿 파동으로 이어질 가능성을 암시하는 것이다. 녹색성장이라는 큰 목표아래 화석연료를 대체하기 위한 대안으로써 단순 연소식 에너지 발생원으로 목재 펠릿을 이용한다는 것은 매우 비경제적 발상으로 비판받을 가능성도 내재되어 있다. 특히 펄프 자급률이 불과 약 20%에 불과한 국내 펄프제지산업의 상황을 고려한다면 국내에서 발생하는 산림 바이오매스는 매우 가치 있는 이차산물을 발생시키는 귀중한 펄프용 원료로 이용될 수 있음에도 불구하고 이에 대한 인식은 극히 낮은 실정이다.

본 연구에서는 향후의 숲가꾸기가 될 대상의 산림 면적을 전망하고 이를 이용하여 산림 바이오매스 발생량을 추정하고자 한다. 이를 위해 숲가꾸기 사업에서 발생하는 ha당 바이오매스 발생량에 대해서는 선행연구 결과^{4,9)}를 참조하고, 이를 다양한 방법을 통해

산출된 숲가꾸기 대상 면적 전망치에 적용하여 산림 바이오매스 발생량을 연도별로 전망하고자 한다.

숲가꾸기 사업은 15년생 이후의 나무에 대해 10년을 주기로 2-3회 솎아베기를 하는 것이 주요 내용임으로 석현덕 등의 연구⁵⁾에서는 우리나라 산림 중 우선적으로 숲가꾸기 사업의 대상이 되는 산림을 20년에서 29년생 수령으로 이루어진 II영급, 30년에서 39년생 수령으로 이루어진 III영급, 40년에서 49년생 수령으로 이루어진 IV영급의 산림으로 선정하였다.

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 II영급의 산림면적은 지속적으로 감소하고 있는데, 1996년 대비 2008년에는 약 58% 감소한 796,928 ha로 나타난다. III영급의 산림 면적은 1996년 대비 26%가 증가한 1,893,423 ha 나타나며, IV영급의 산림 면적 추이는 1996년 대비 2배 이상 증가한 1,356,357 ha로 나타난다.

이러한 영급별 산림면적의 변화를 종합하면, Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 II, III, IV영급 산림면적의 합계는 2004년 4,156,797 ha를 정점으로 하여 이후 계속 감소하는 추세에 있는 것으로 나타난다.

석현덕 등의 연구⁵⁾에서는 II, III, IV영급의 산림면

적의 합계를 대상으로 10년을 주기로 숲가꾸기 사업을 실시한다고 가정하여 2004년 기준으로 숲가꾸기 사업의 잠재적 대상면적을 $(Y_{II} + Y_{III} + Y_{IV}) \div 10$ 의 방식으로 계산하였다(여기서 YII, YIII, YIV는 각각 II, III, IV영급 산림면적임).⁵⁾

본 연구에서는 선행연구와 시각을 달리하여 IV영급 산림면적은 숲가꾸기 대상면적의 전망치 산정에서 제외하였는데, 그 이유는 1973년 이후 현재까지 지속적으로 숲가꾸기 사업이 진행되어 왔기 때문에 수령이 높은 IV영급 산림에 대해서는 대부분 숲가꾸기가 이미 실시되었을 가능성이 크기 때문에 IV영급 산림은 더 이상 숲가꾸기를 실시할 필요가 없다고 전제하는 것이 합리적이기 때문이다.

3. 연구방법 - 산림면적 전망치 산출

3.1 숲가꾸기 대상이 되는 II영급 및 III 영급 대상면적을 합산하여 전망하는 경우

우선 본 연구가 대상으로 삼고 있는 숲가꾸기 사업의 대상 II, III영급 면적의 합계를 이용하여 추세방정

Table 1. Forest areas in Korea (unit: ha)

	Total	Age I	Age II	Age III	Age IV	Age V	Age VI
1996	4,827,773	854,224	1,892,253	1,502,208	406,455	137,318	35,315
1997	4,840,029	716,355	1,778,819	1,575,390	491,487	221,595	56,383
1998	4,851,959	548,400	1,483,109	1,821,954	661,704	277,597	59,195
1999	4,864,245	487,746	1,254,977	1,952,839	800,286	299,617	68,780
2000	4,844,356	434,772	1,149,661	1,946,770	953,244	287,287	72,622
2001	4,855,804	404,549	1,052,064	1,949,405	1,065,970	302,151	81,665
2002	4,861,989	377,119	950,557	1,957,662	1,169,796	324,408	82,447
2003	4,904,888	347,583	909,199	1,926,107	1,276,687	359,712	85,600
2004	4,951,207	321,507	813,717	1,959,296	1,383,778	382,495	90,414
2005	4,920,922	336,652	807,191	1,935,343	1,374,249	370,936	96,551
2006	4,916,160	355,450	803,328	1,922,422	1,368,883	369,805	96,272
2007	4,901,357	372,468	800,927	1,907,011	1,360,832	364,753	95,366
2008	4,894,821	389,604	796,928	1,893,423	1,356,357	363,265	95,244

Source: Forest statistics10)

Table 2. Estimation results of trend equation for large area of thinning (R2=0.9095)

	Parameters	Standard error	t - statistic	P- value
α_0	15.09238	0.019453	775.8355	0.000
α_1	-0.10861	0.010324	-10.5203	0.000

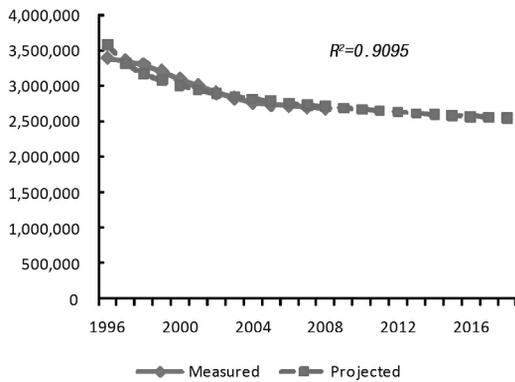


Fig. 1. Projection of target area for thinning based on trend equation (unit: ha).

식을 추정하여 향후 10년간의 숲가꾸기 대상 면적을 전망할 수 있는데, 추세방정식은 II영급 및 III영급 산림면적 변화 추세를 가장 잘 설명하는 다음과 같은 식 (1)의 형태로 설정하였다.

$$\ln(Y_t^{II,III}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(t) + \epsilon_t \quad (\text{식 1})$$

여기서 $Y_t^{II,III}$ 는 t년도의 II, III영급 면적의 합계이며 t는 추세를 나타낸다. 추세방정식 추정결과는 Table 2에 제시되어 있다. 모든 설명변수가 99%수준에서 유의하며, 결정계수 값도 0.9095로 높은 것을 알 수 있다. Table 2의 추세방정식을 근거로 할 경우 숲가꾸기 대상면적은 Fig. 1과 같이 전망된다. 2018년을

예를 들 경우 II, III영급 면적의 합계는 2,550,563 ha로 전망된다.

3.2 II 영급, III영급 산림면적을 각각 전망하는 경우

3.2.1 II 영급의 산림면적 전망

II 영급의 산림 면적은 자연로그를 취하여 비선형으로 추정하는 것이 가장 신뢰성이 높은 것으로 나타나 식 (2)와 같은 형태로 추정하였다

$$\ln(Y_t^{II}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(t) + \epsilon_{t_{II}} \quad (\text{식 2})$$

여기서 Y_t^{II} 는 II영급의 산림면적이며 t는 추세를 의미한다. II영급의 추세방정식 추정결과는 Table 3에 제시되어 있는데, 모든 설명변수가 99%에서 유의하며 결정계수의 값이 0.9624로 높은 것으로 나타난다. Table 3의 추세방정식을 근거로 하여 향후 10년간의 II영급의 산림면적을 전망한 결과는 Fig. 2와 같다. II영급 산림면적은 지속적으로 줄어들어 2018년에 606,976 ha가 될 것으로 전망된다.

3.2.2 III영급의 산림면적 전망

III영급의 경우 추세가 2004년을 기점으로 추세가 변화하기 때문에 이러한 특징을 감안하여 다음의 식 (3)을 통해 추세방정식을 추정하였다.

Table 3. Estimation results of trend equation for the area of 10-19 years old trees (R2=0.9624)

	Parameters	Standard error	t - statistic	P- value
β_0	14.57005	0.044861	324.7807	0.0000
β_1	-0.39988	0.023809	-16.7952	0.0000

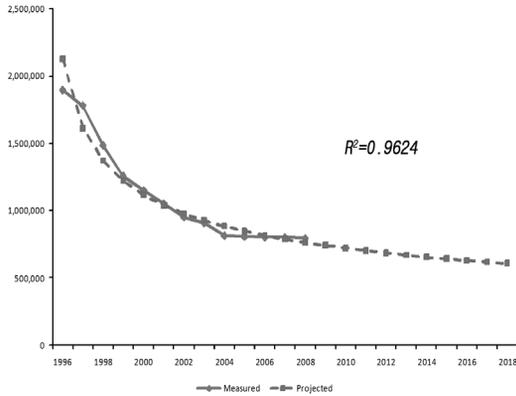


Fig. 2. Projection of the area of 10-19 years-old trees based on trend equation (unit: ha).

$$Y_t^{III} = \gamma_0 + \gamma_1 D_{t_{III}} + \gamma_2 t D_{t_{III}} + \gamma_3 t \quad (\text{식 3})$$

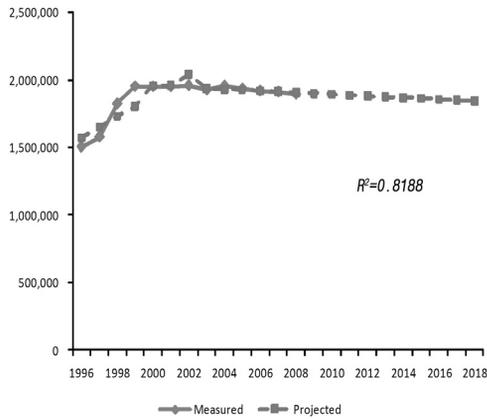


Fig. 3. Projection of the area of 20-29 years old trees based on trend equation (unit: ha).

여기서 Y_t^{III} 는 III영급의 산림 면적이며, $D_{t_{III}}$ 는 더미변수로써 III영급 산림면적이 감소하기 시작한 2004년 이전에는 0, 그 이후는 1이다. III영급의 추세 방정식 추정결과는 Table 4에 제시되어 있다. 추정결과 모든 설명변수가 99%에서 유의하며 결정계수 값도 0.8188로 비교적 높은 것으로 나타난다. Table 4의 추세방정식을 근거로 할 경우 III영급의 산림 면적은 Fig. 3과 같이 전망된다. III 영급 면적은 지속적으로 줄어들어 2018년에 1,843,296 ha가 될 것으로 전망된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 숲가꾸기 사업에서의 산림 바이오매스 발생량 추정을 위한 시나리오 구성

앞 절에서의 산림면적 전망치를 근거로 다음과 같은 시나리오를 구성하여 산림 바이오매스 발생량을 전망하였다. 숲가꾸기 대상이 되는 산림 중 매년 숲가꾸기를 실시하는 시나리오는 크게 네 가지로 구성하였는데, 첫 번째는 숲가꾸기가 10년 주기로 실시된다고 보고 식 (4)와 같이 매년 II영급과 III영급을 합산한 전망치의 1/10씩 균등하게 실시하는 경우(시나리오 1), 두 번째는 역시 숲가꾸기가 10년 주기로 실시된다고 보고 식 (5)와 같이 II영급과 III영급 각각의 전망치에 대해 매년 1/10씩 균등하게 실시하는 경우(시나리오 2)이다.

$$A_t = \text{Exp}[\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \ln(t)] \times \frac{1}{10}, t=2009-2018 \quad (\text{식 4})$$

$$A_t = [\text{Exp}[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(t)] + [\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 D_{t_{III}} + \hat{\gamma}_2 t D_{t_{III}} + \hat{\gamma}_3 t]] \times \frac{1}{10}, t=2009-2018 \quad (\text{식 5})$$

Table 4. Estimation results of trend equation for the area of 20-29 years old trees (R2=0.8188)

	Parameters	Standard error	t-statistic	P-value
γ_0	1,495,289	62,413.4	23.9578	0.000
γ_1	77,727.24	14,256.2	5.45216	0.000
γ_2	493,253.9	128,549	3.83709	0.004
γ_3	-84,042.3	18,133.3	-4.6347	0.001

세 번째와 네 번째 경우는 각 영급의 산림면적이 줄어드는 추세를 감안하여 매년 각 영급 면적의 1/10씩에 대해서 숲가꾸기를 실시하되 전년도에 비해 금년도에 줄어든 면적만큼은 숲가꾸기 대상에서 제외하는 경우이다. 따라서 시나리오 3과 시나리오 4는 다음과 같이 식(6)과 식(7)의 방식으로 숲가꾸기 대상 면적을 산정하였다.

$$A_t = \text{Exp}[\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \ln(t)] \times \frac{1}{10} - [\text{Exp}[\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \ln$$

$$(t-1)] - \text{Exp}[\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \ln(t)] \quad (\text{식 6})$$

$$A_t = [\text{Exp}[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(t)] + [\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_2 t D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_3 t] \\ \times \frac{1}{10} - [\text{Exp}[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(t-1)] + [\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_2(t-1) D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_3(t-1)]] + [\text{Exp}[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(t)] + [\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_2 t D_{t_{\text{m}}} + \hat{\gamma}_3 t]] \quad (\text{식 7})$$

다음으로 숲가꾸기 대상면적에서 ha당 산림 바이오매스가 발생하는 양은 석현덕 등의 연구(5)에서 1 ha

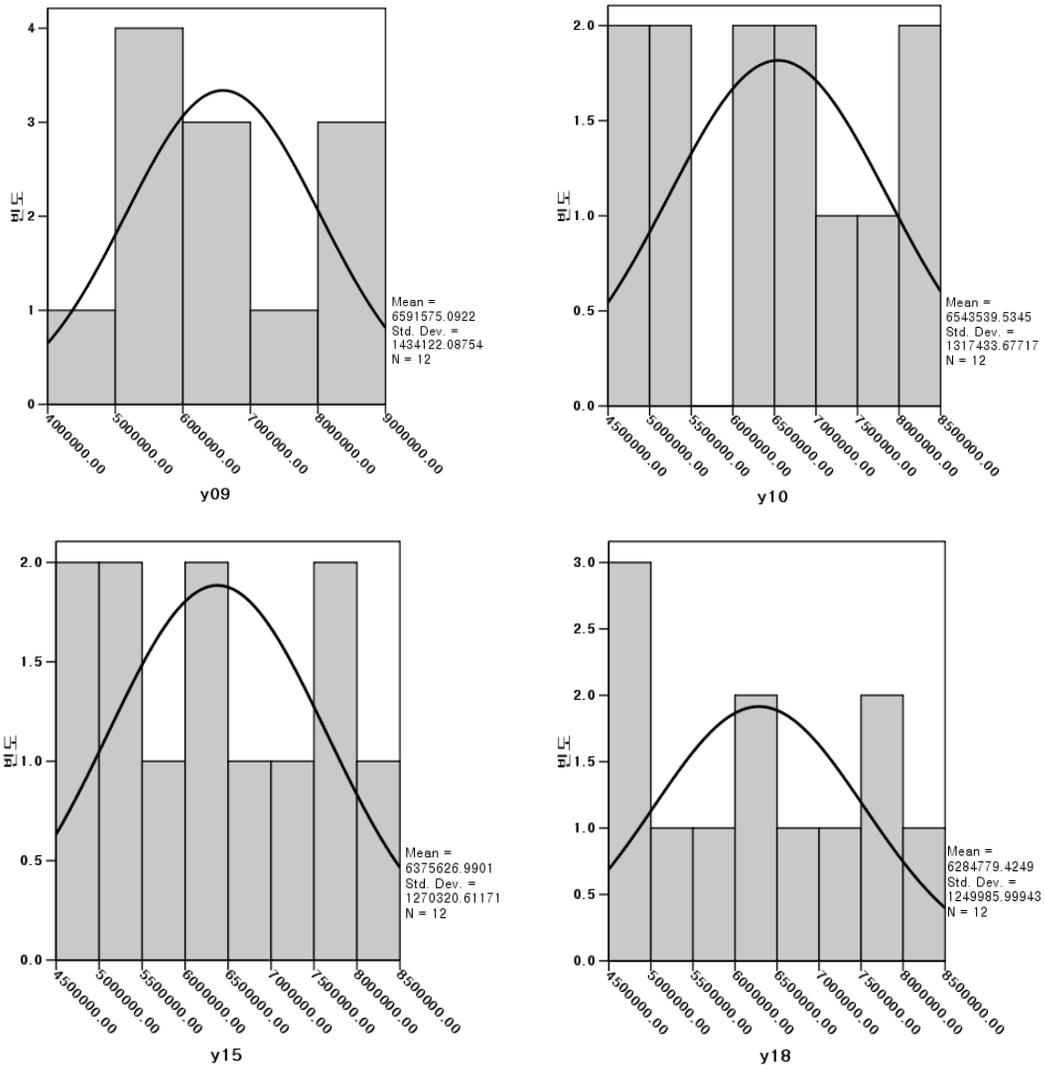


Fig. 4. Distribution of the estimates of forest biomass for 2009, 2010, 2015, and 2018(unit: m³).

당 31.8 m³와 배정환의 연구4)에서 1 ha당 20 m³의 결과치를 원용하고 두 결과치의 중간 값인 1 ha당 25.9 m³의 값도 추가적으로 적용하였다.

3.2 숲가꾸기 사업에서의 산림 바이오매스 발생량 추정결과

산림 바이오매스 발생량을 전망하기 위해 숲가꾸기 대상면적 추정을 위한 4가지 시나리오와 1 ha당 바이오매스 발생량에 대한 3가지 경우를 조합하여 연도별로 산림 바이오매스 발생량을 계산하는 12가지 조합을 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 통해 도출된 2009년, 2010년, 2015년, 2018년의 산림바이오매스 발생량 전망치 분포는 Fig. 4와 같다. 2009년의 경우 평균 6,591,575 m³의 산림바이오매스가 숲가꾸기 사업으로부터 발생할 것으로 전망되며(표준편차 1,373,067 m³), 2015년의 경우 평균 6,375,627 m³의 산림바이오매스가 숲가꾸기 사업으로부터 발생할 것으로 전망된다(표준편차 1,216,239 m³). 또한 2018년의 경우 평균 6,284,779 m³의 산림 바이오매스가 숲가꾸기 사업으로부터 발생할 것으로 전망된다(표준편차 1,196,770 m³).

Fig. 5는 연도별로 숲가꾸기 사업을 통해 발생하는 산림 바이오매스의 발생량을 전망한 것인데, 산림 바이오매스 발생량은 숲가꾸기 대상면적이 감소함에 따라 지속적으로 감소할 것으로 보인다. 표준편차를 고려하여 평균치에 표준편차를 더한 값을 발생량의

상한으로 볼 경우, 2009년에는 산림바이오매스 발생량의 상한은 7,964,642 m³로 추정되며 이는 점차 감소하여 2018년에는 산림 바이오매스 발생량의 상한은 7,481,550 m³가 될 것으로 전망된다. 평균치에서 표준편차를 차감한 값을 발생량의 하한으로 볼 경우, 2009년 산림바이오매스 발생량의 하한은 5,218,580 m³로 추정되며 이는 점차 감소하여 2018년에는 산림 바이오매스 발생량의 하한이 5,088,009 m³가 될 것으로 전망된다.

4. 결론

숲가꾸기 사업에서 발생하는 산림바이오 매스의 발생량은 궁극적으로 숲가꾸기의 대상이 되는 산림 면적에 크게 좌우된다. 매년 이루어지는 숲가꾸기 사업의 산물로 발생되는 산림 바이오매스의 효과적 이용 방안을 찾기 위해서는 그 발생량을 비교적 정확히 예측하여 그 공급량에 맞게 수요처를 찾는 것이 무엇보다 중요하다. 우리나라의 산림 영급 분포를 보면 IV 영급 이상의 산림이 점점 많아지고 있어, 앞으로 간벌과 같은 산림 바이오매스를 발생시키는 숲가꾸기의 대상이 되는 산림면적은 줄어들 전망이다. 대신 덩굴 제거나 풀베기와 같은 사업은 지속적으로 실시될 필요가 있을 것이다.

본 연구의 추정결과 간벌의 주요 대상이 되는 II영급과 III영급 산림면적은 향후 10년간 지속적으로 줄어드는 것으로 나타난다. 그러나 V영급 이상이 되는 산림을 주별하게 되고 그 결과 신규조림을 지속적으로 실시해야 하는 상황을 감안하면, 신규 조림한 산림은 다시 시간이 지남에 따라 간벌과 같은 숲가꾸기 사업의 대상이 되어야 하기 때문에 향후에도 산림 바이오매스가 지속적으로 숲가꾸기 사업을 통해 발생하게 됨은 충분히 예상할 수 있다.

본 연구는 산림 바이오매스 발생량에 대한 향후 10년간의 전망치를 추정한 것이기 때문에 좀 더 장기적인 관점에서의 산림 바이오매스 발생량에 관한 전망은 후속연구에서 이어져야 할 것이다. 그러나 본 연구에서 보다 직접적으로 가까운 미래의 산림 바이오매스의 발생량을 전망했다는 측면에서 향후 산림 바이오매스 관련 정책 수립에 있어서 국내의 산림 바이오매스 발생량 예측치에 근거하여 보다 더 효과적이고

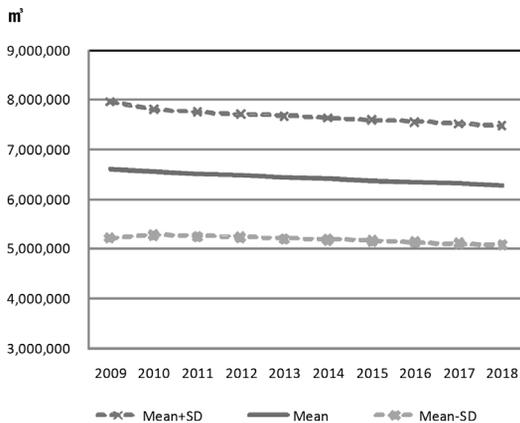


Fig. 5. Estimates of forest biomass for the years 2009-2018 (unit: m³)(SD: Standard Deviation).

도 경제적인 이용을 위한 근거 자료로 이용될 수 있을 것이다.

인용문헌

1. Gan, J., Supply of biomass, bioenergy, and carbon mitigation: Method and application, Energy Polciy 35: 6003-6009(2007).
2. 강창용, 박현태, 바이오매스 이용의 사회경제적 유용성, 농촌경제 29(5): 79-95(2006).
3. 산림청, 2008년도 산림과 임업 동향에 관한 연차보고서 (2008).
4. 배정환, 목질계 바이오매스 에너지의 지역별 잠재적 파급효과 추정, 한국신재생에너지학회 추계학술대회 논문집: pp217-220(2006).
5. 석현덕 외, 목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안, 한국농촌경제연구원(2005).
6. 산림청, 임업통계연보 해당연도판.
7. 이홍재 외, Eviews를 이용한 금융경제 시계열 분석, 경문사(2005).
8. 김의경 외, 제 5차 산림기본계획 수립을 위한 정책개발, 한국산림정책연구회(2005).
9. 장철수 외, 산림 내 폐잔재의 현지 활용을 위한 한국형 조립식 탄화장치 기술개발 및 실용화연구, 한국농촌경제연구원(2004).
10. 이돈구 외, 지속가능한 산림자원 육성전략 수립, 한국임학회(2004).