

부트스트랩 시뮬레이션을 이용한 리기다소나무림의 줄기밀도와 바이오매스 확장계수 평가

서연옥¹ · 이영진^{1*} · 표정기² · 김래현² · 손영모² · 이경학²

¹공주대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 탄소경영연구과

Bootstrap Evaluation of Stem Density and Biomass Expansion Factors in *Pinus rigida* Stands in Korea

Yeon Ok Seo¹, Young Jin Lee^{1*}, Jung Kee Pyo, Rae Hyun Kim, Yeong Mo Son² and Kyeong Hak Lee²

¹Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 340-802, Korea
²Division of Forest Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 본 연구는 리기다소나무림을 대상으로 임령을 20년생 이하와 21년생 이상으로 구분하여 줄기밀도와 바이오매스 확장계수의 안정성을 부트스트랩(Bootstrap) 기법으로 평가하고자 하였다. 줄기밀도(g/cm³)는 20년생 이하에서 0.460, 21년생 이상에서 0.456으로 나타났으며, 바이오매스 확장계수는 20년생 이하에서 2.013, 21년생 이상에서 1.171로 나타났다. 부트스트랩 추정치를 100번, 500번 반복 시행한 결과, 줄기밀도(g/cm³)는 20년생 이하에서 0.462~0.465로 나타났고 21년생 이상에서 0.456~0.457로 나타났다. 바이오매스 확장계수의 추정치는 20년생 이하에서 1.990~2.039로 나타났고 21년생 이상에서는 1.170~1.173으로 나타났다. 실측치와 부트스트랩 추정치의 평균값 차이(Difference)는 5% 내에서 일치하는 것으로 나타났으며, 줄기밀도는 20년생 이하에서 평균의 차이가 0.441~1.049%의 범위로 나타났고 21년생 이상에서는 0.123~0.206%로 나타났다. 바이오매스 확장계수는 20년생 이하에서 평균의 차이가 -1.102~1.340% 사이에서 나타났으며 21년생 이상에서 -0.024~0.215%로 나타났다. 줄기밀도와 바이오매스 확장계수를 시뮬레이션 기법으로 평가한 결과, 줄기밀도는 1.1%, 바이오매스 확장계수는 1.4% 이내로 나타났으며 20년생 이하가 21년생 이상보다 오차가 큰 것으로 나타났다.

Abstract: This study was conducted to examine the bootstrap evaluation of the stem density and biomass expansion factor for *Pinus rigida* plantations in Korea. The stem density (g/cm³) in less than 20 tree years were 0.460 while more than 21 tree years were 0.456 respectively. Biomass expansion factor of less than 20 years and more than 21 years were 2.013, 1.171, respectively. The results of 100 and 500 bootstrap iterations, stem density (g/cm³) in less than 20 years were 0.456~0.462 while more than 21 years were 0.457~0.456 respectively. Biomass expansion factor of less than 20 years and more than 21 years were 1.990~2.039, 1.173~1.170, respectively. The mean differences between observed biomass factor and average parameter estimates showed within 5 percent differences. The split datasets of younger stands and old stands were compared to the results of bootstrap simulations. The stem density in less than 20 years of mean difference were 0.441~1.049% while more than 21years were 0.123~0.206% respectively. Biomass expansion factor in less than 20 years and more than 21 years were -1.102~1.340%, -0.024~0.215% respectively. Younger stand had relatively higher errors compared to the old stand. The results of stem density and biomass expansion factor using the bootstrap simulation method indicated approximately 1.1% and 1.4%, respectively.

Key words : *Pinus rigida*, stem density, biomass expansion factor, bootstrap method

서론

대기 중 온실가스의 증가는 지구온난화와 기후변화 문

제를 야기할 수 있으며(Takeshi *et al.*, 2007), 이는 산업혁명 이후 에너지 사용과 경제활동으로 인해 온실가스를 대량으로 방출하여 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 온실가스를 줄이기 위한 활동으로 기후변화협약 제 3차 당사국 총회에서 교토의정서를 채택하였으며, 2005년 2월 교

*Corresponding author
E-mail: leeyj@kongju.ac.kr

토의정서가 발효되었다(Takeshi *et al.*, 2007; 국립산림과학원, 2009). 이에 따라 우리나라도 의무부담국 선정, 탄소배출권 거래 등 협상에 대한 압력이 점점 커지고 있는 것이 현 실정이라고 할 수 있다(국립산림과학원, 2010). 또한 산림 생태계는 기후변화를 줄이기 위한 구조의 하나로써 교토의정서 내에 포함되어 있으며, 임목과 토양에 많은 이산화탄소를 저장하고 있다(Lentonen *et al.*, 2004; Pajtik *et al.*, 2008). 이에 따라 우리나라는 바이오매스의 기본 통계 자료 제출에 대한 방안이 이루어져야 하며 이를 뒷받침 할 수 있는 정확한 국가 기본 통계 구축이 필요한 실정이다(국립산림과학원, 2007). 따라서, 바이오매스 배출계수의 통계 자료에 대한 신뢰성과 국제적인 인정을 받기 위하여 불확실성을 검증하는 통계방법으로 부트스트랩(bootstrap) 모형이 사용될 수 있다. 부트스트랩의 모형은 모델 타당성의 부분으로 모델 추정 오차 평가의 한 도구로써(Nicholas R *et al.*, 2010) 무작위 추출법(random sampling)의 의해 효과적인 처리를 할 수 있으며, 계수에 대해 표준편차 및 95% 신뢰구간을 추정하는 방법으로 이루어진다. 이 방법은 기존자료와 같은 크기의 또 다른 자료를 만들어 내는 방법으로 실제 자료에 근거하므로 표본의 크기가 작아도 왜도에 큰 영향을 받지 않으며 작은 표본을 평가하는데 좋은 방법이라고 할 수 있다(Efron, 1979; 전명식 등, 1997; 김윤배 등, 2003; 심준섭, 2004; 최희진, 2007).

부트스트랩에 대한 국외연구에서는 수고 성장 모델의 부트스트랩 평가(Vaughn *et al.*, 2010), 부트스트랩 시물레이션 산출 분석(Park *et al.*, 2001), 매개 변수 모델의 편중된 부트스트랩 적용성(Tsai, 2002) 등의 연구가 진행되었으며 국내에서는 부트스트랩의 활용과 이해(백재욱과 윤용운, 1995; 심준섭, 2004), 임계값 부트스트랩을 사용한 입력 시나리오 등이 연구되었다(김윤배 등, 2003). 그러나 연구 내용의 대부분이 통계학과 컴퓨터에 관련하여 부트스트랩을 설명한 경우가 많았으며 바이오매스 배출계수에 대한 적용사례는 없는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구는 충남·전북·경남지역의 리기다소나무 임분을 20년생 이하와 21년생 이상으로 구분하여 분석한 줄기밀도와 바이오매스 확장계수를 부트스트랩 방법을 이용한 추정치와 비교 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

조사 대상지는 충청남도 예산군과 전라북도 무주군, 진안군, 경상남도 산청군 지역의 리기다소나무 조림지를 대상으로 하였다. 총 조사된 표준지는 15 plot이며, 조사 대상지 임분 내에서 임령을 고려하여 20년 단위의 2개 영급단위로 분류하였으며, 예산지역에서 각 영급단위별 10m×10m 정방형으로 8개소의 표준지를 설치하였고, 무주, 산청, 진안지역은 20m×20m 방형구로 7개소의 표준지를 선정하였다. 조사지별 영급과 직경을 고려하여 표본목을 선정하였으며 평균 임령은 20년생 이하에서 13년으로 나타났고, 21년생 이상에서 36년으로 나타났다(Table 1).

2. 조사방법

1) 표본목 선정 및 측정

조사 대상 임분에서 임령과 흉고직경을 고려하여 표본목을 선정하였으며, 표본목의 줄기는 Huber식에 의해 지상 0.2m 높이에서 채취한 후 2m 간격으로 절단하였고, 처음과 끝은 1m 단위로 맞추어 주었다. 원판의 두께는 5cm 단위로 되도록 정확하게 시료를 채취하였으며, 원판과 통나무의 생중량을 측정하였다. 채취한 시료는 건조기에서(90°C) 향량에 도달 할 때까지 건조시킨 후 건중량을 측정하여 각 원판의 건중량 대 생중량 비를 산정하였다. 또한 Huber식에 의한 줄기의 목질부재적, Smalian식에 의한 근주체적, 원추체식에 의한 초두부재적을 산정하였다. 잎과 가지는 생중량 측정 후 최소 400g 이상의 시료들을 채취하여 건조기에서 90°C로 향량에 도달될 때까지 건조시킨 후 잎, 가지 시료에 대하여 건중량을 측정한 후 건중량 대 생중량 비를 산출하였다. 측정된 자료를 바탕으로 리기다소나무의 줄기밀도와 바이오매스 확장계수를 산출하였다(IPCC 우수실행지침, 2003).

2) 줄기밀도와 바이오매스 확장계수

줄기밀도는 바이오매스를 평가하는데 중요한 수단의 하나로서 수간석해 한 자료를 이용하여 줄기의 건중량 대 재적 값(g/cm^3)을 환산하여 사용하였으며(Nogueira *et al.*,

Table 1. The summary of observed statistics for the Pinus rigida in Korea.

Age (years)	No. of trees (Total Discs)	Age (years)	DBH (cm)	Height (m)	Density (tree/ha)	BA (m ² /ha)
≤20	18 (66)	13.4	5.4	4.1	3,500	5.0
		8-20	1.3-11.8	1.7-8.8	2,600-5,200	2.1-6.0
>21	39 (315)	35.7	35.7	14.81	625	23.6
		21-44	9.7-39.5	7.1-19.0	1,162-2,300	13.9-34.7

2008) 바이오매스 확장계수는 표본목의 부위별 건중량과 줄기 건중량 비율로 산출하였고(국립산림과학원, 2010), 재적의 값은 수피를 포함한 재적을 사용하였다. 자료의 통계분석은 SAS 9.1(2004)을 통하여 분석하였다.

3) 부트스트랩 방법 및 적용

부트스트랩은 임의 표본을 발생시킨 모집단에 대한 어떠한 모수적인 가정을 하지 않는 방법으로써, 기존의 자료(original data set)에서 재표본을 통해 기존의 자료와 동일한 크기의 부트스트랩 표본을 복원추출(with replacement) 하는 과정을 통해 산출하였다. 반복과정을 통해 구한 경험적 부트스트랩 분포를 이용하여 통계량의 모집단 분포를 근사적으로 산출하였다. 본 연구에서는 추정량 $\hat{\theta}$ 의 정확도를 측정할 수 있는 편의추정과 신뢰구간을 사용하여 정확성을 추정하였다(전명식 등, 1997). 부트스트랩의 편의추정 방법은 다음과 같다. 1) $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 로부터 복원랜덤 추출한 부트스트랩 표본을 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 라 할 때 이를 독립적으로 B회 반복하여 $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$ 를 생성하였다. 2) 부트스트랩으로부터 $\hat{\theta}^* = g(x^{*b})$, $b=1, 2, \dots, B$ 를 산출하였다. 3) $bias = \hat{\theta}^*(\cdot) - t(\hat{F}) = g(x^*) - g(x)$ 식에 의해 추정값을 산출하였다. 또한, 신뢰구간을 추정하는 방법은 다음과 같다. 1) 표본 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 으로부터 복원랜덤 추출한 B개의 부트스트랩 표본 $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$ 을 생성하였다. 2) B개의 부트스트랩 표본 각각에 대하여 $Z^*(b) = (\hat{\theta}^*(b) - \hat{\theta}) / se(\hat{\theta}^*(b))$, $b=1, 2, \dots, B$ 를 산출하였다. 3) $Z^*(b)$ 의 $100 \times \alpha$ 백분위수를 $\sum_{i=1}^R I\{Z^*(b) \leq t_{(\alpha)}^*\} / B = \alpha$ 를 만족하는 $t_{(\alpha)}^*$ 으로 추정하였다. 4) 신뢰도가 $(1-\alpha) \times 100\%$ 인 부트스트랩 신뢰구간은 $[\hat{\theta} - \hat{t}_{(1-\alpha/2)} \cdot se, \hat{\theta} - \hat{t}_{(\alpha/2)} \cdot se]$ 산출하였다.

부트스트랩의 반복횟수는 500번으로 설정하였고, 이는 IPCC가 안정된 통계량 산출 시 5,000번으로 권장하고 있으며 5,000번으로 시행한 결과, 반복 시행에 큰 차이가 없었으므로 500번을 기준으로 설정하였다. 또한, 부트스트랩에 이용된 표본 수는 20년생 이하에서 18그룹, 21년생 이상에서 39그룹을 대상으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 줄기밀도와 바이오매스 확장계수의 실측치

리기다소나무에 대한 줄기밀도(g/cm^3)의 평균치는 20년생 이하에서 0.460, 21년생 이상에서 0.456으로 나타났다. 줄기밀도의 표준편차는 20년생 이하에서 0.073으로 나타났고 21년생 이상에서 0.058로 나타나 20년생 이하에서 21년생 이상보다 편차가 큰 것으로 나타났다. 기존의 연구 결과와 비교 분석한 결과, 충남 예산지역 리기다소나무는 20년생 이하에서 0.455로 나타났고 21~40년생은 0.456으로 나타나 본 연구와 거의 비슷한 수치를 보였다

(서연옥 등, 2006). 또한, 95% 신뢰구간에서 평균은 20년생 이하에서 각각 0.294, 0.578로 나타났고 21년생 이상에서 0.356, 0.585로 나타나 20년생 이하와 21년생 이상에서 95% 신뢰구간에 포함되는 것으로 나타났다.

바이오매스 확장계수는 20년생 이하에서 2.013, 21년생 이상에서 1.171의 수치로 나타났으며 바이오매스 확장계수의 표준편차는 20년생 이하에서 0.800으로 나타났고 21년생 이상에서 0.149로 나타났다. 기존의 연구 결과와 비교 분석한 결과, 예산지역 리기다소나무 20년생 이하에서 1.278로 나타났고 21~40년생에서 1.010으로 나타나 본 연구의 20년생 이하에서 매우 큰 차이가 나타났다. 이는 다양한 지역과 유령임분을 대상으로 하여 큰 변이가 나타난 것으로 사료된다. 독일의 수종별 바이오매스 확장계수는 1.339~1.511의 범위 내에서 나타났으며(국립산림과학원, 2008), 본 연구의 20년생 이하에서 큰 차이가 나타났다. 또한, 바이오매스 확장계수의 95% 신뢰구간에서 평균은 20년생 이하에서 각각 1.010, 3.438로 나타났고, 21년생 이상에서 0.002, 1.527로 나타나 95% 신뢰구간에 포함되는 것으로 나타났다.

2. 줄기밀도와 바이오매스 확장계수의 부트스트랩 추정치

줄기밀도와 바이오매스 확장계수 실측치를 대상으로 100번, 500번 부트스트랩을 반복적으로 시행한 결과, 줄기밀도(g/cm^3)는 20년생 이하에서 0.462~0.465로 나타났고 21년생 이상에서 0.456~0.457로 나타났다. 줄기밀도의 표준편차는 20년생 이하에서 0.034, 0.035로 나타났으며 21년생 이상에서 0.019로 나타나 측정치와 동일하게 20년생 이하에서 21년생 이상 보다 편차가 큰 것으로 나타났다.

바이오매스 확장계수는 20년생 이하에서 1.990~2.039로 나타났고 21년생 이상에서 1.170~1.173으로 나타났다. 바이오매스 확장계수의 표준편차는 20년생 이하에서 0.384, 0.376으로 나타났고 21년생 이상에서 0.054, 0.052로 나타나 20년생 이하에서 21년생 이상보다 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 줄기밀도와 바이오매스 확장계수 추정치 값은 실측치 값과 비슷한 수치로 나타났으며, 이는 부트스트랩을 반복적으로 시행할 때 실측치 값의 분포를 잘 따른다고 할 수 있다.

3. 실측치와 추정치의 평균 비교

줄기밀도의 계수 추정치를 100번, 500번의 부트스트랩을 실행하여 평균을 원본 데이터 자료와 비교 분석한 결과 Table 2와 같다. 20년생 이하에서 평균의 차이는 0.441~1.049%의 범위로 나타났고 21년생 이상에서는 0.123~0.206%로 나타났다. Bias와 \sqrt{MSE} 의 값에서 보면 알 수 있듯이 두 자료에서 계수의 평균 차이는 크지 않았음을 알 수 있으며 21년생 이상보다 20년생 이하에서 오

Table 2. Comparison of bootstrap sample mean with original data by stand age classes of stem density.

Age	Original data	No. of Rep.	Bootsample ^a	Difference (%) ^b	Bias ^c	Std · Dev ^d	\sqrt{MSE} ^e
Age ≤ 20	0.460	100	0.465 (0.395, 0.524)*	1.049	0.005	0.034	0.034
		500	0.462 (0.392, 0.530)*	0.441	0.002	0.035	0.035
Age > 21	0.456	100	0.457 (0.417, 0.489)*	0.206	0.001	0.019	0.019
		500	0.456 (0.418, 0.495)*	0.123	0.001	0.019	0.019

Note: a : Coefficient estimate mean after 100, 500 bootstrap iteration, b : (Bootsample value - original data value) / (original data value) × 100, c : (Bootsample value - original data value), d : Standard deviation of 100, 500 bootsample, e : $\sqrt{Bias^2 + Std \cdot Dev^2}$
 *The values in parenthesis represent 95% confidence interval (lower limit 2.5%, upper limit 97.5%).

Table 3. Comparison of bootstrap sample mean with original data by stand age classes of biomass expansion factor.

Age	Original data	No. of Rep.	Bootsample ^a	Difference (%) ^b	Bias ^c	Std · Dev ^d	\sqrt{MSE} ^e
Age ≤ 20	2.013	100	1.990 (1.379, 2.781)*	-1.102	-0.022	0.384	0.384
		500	2.039 (1.266, 2.741)*	1.340	0.027	0.376	0.377
Age > 21	1.171	100	1.173 (1.059, 1.283)*	0.215	0.003	0.054	0.054
		500	1.170 (1.073, 1.277)*	-0.024	0.000	0.052	0.052

Note: a : Coefficient estimate mean after 100, 500 bootstrap iteration, b : (Bootsample value - original data value) / (original data value) × 100, c : (Bootsample value - original data value), d : Standard deviation of 100, 500 bootsample, e : $\sqrt{Bias^2 + Std \cdot Dev^2}$
 *The values in parenthesis represent 95% confidence interval (lower limit 2.5%, upper limit 97.5%).

차가 큰 것으로 나타났다. 또한, 평균과 표준편차를 이용하여 95% 신뢰구간에서 실제 데이터의 평균이 2.5%와 97.5% 신뢰구간에 포함됨을 확인할 수 있었다.

바이오매스 확장계수의 경우, 평균 차이는 20년생 이하에서 -1.102~1.340%로 나타났고 21년생 이상에서 -0.024~0.215%로 나타났으며 Bias와 \sqrt{MSE} 은 20년생 이하가 21년생 이상보다 높게 나타났다(Table 3). 바이오매스 확장계수의 평균값 변화 패턴을 95% 신뢰구간에서 계산한 결과, 부트스트랩으로 구한 추정치들의 신뢰구간이 부트스트랩의 자료로 산출된 신뢰구간 평균값에 포함됨을 확인할 수 있었다. 따라서 줄기밀도와 바이오매스 확장계수를 부트스트랩의 자료를 통해 판정한 결과, 계수 적용이 가능할 것으로 판단되며, 안정성과 예측력이 높아질 것으로 사료된다.

결 론

우리나라의 대표적 조림 수종인 리기다소나무림을 대상으로 IPCC가 정하는 20년생 이하와 21년생 이상으로 구분하여 줄기밀도와 바이오매스 확장계수를 부트스트랩으로 적합성을 평가하고자 하였다. 본 연구 결과, 줄기밀도는 영급별 차이가 거의 나타나지 않았으며, 바이오매스 확장계수는 영급별 차이가 나타났다. 실측치와 부트스트랩 추정치의 평균값 차이를 비교한 결과, 5% 이내에서 일치하는 것으로 나타났으며, 줄기밀도와 바이오매스 확장계수는 20년생 이하가 21년생 이상보다 오차가 다소 높은 것으로 나타났다. 따라서 줄기밀도와 바이오매스 확장계수는 영급별 연구를 수행할 시 20년생 이하의 개체수가

다소 부족한 것으로 보이며 추후 20년생 이하에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, 줄기밀도는 영급별 차이가 나타나지 않았으며, 20년생 이하와 21년생 이상을 구분하지 않고 사용하여도 무방할 것으로 보이나, 바이오매스 확장계수는 영급별 차이를 보이므로 영급을 구분하여 사용되어야 할 것으로 사료된다. 따라서 줄기밀도와 바이오매스 확장계수는 지역과 임령을 고려하고 부트스트랩 방법의 보다 정확한 타당성 검증을 위해 임목의 표본목 수를 증가시켜 분석 시 표본의 특성을 잘 대표할 수 있도록 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단의 지역대학우수과학자지원사업(20110014677) 연구결과의 일부임.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2007. 우리나라 산림 바이오매스 자원 평가. pp. 105.
2. 국립산림과학원. 2008. 산림부분 온실가스 흡수 · 배출 계수 관리 방안. pp. 94.
3. 국립산림과학원. 2009. 기후변화와 산림. pp. 69-100.
4. 국립산림과학원. 2010. 산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수. pp. 89.
5. 김운배, 김재범, 고종석. 2003. 임계값 부트스트랩을 사용한 입력 시나리오의 생성. 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회. pp. 1179-1185.
6. 백재욱, 윤용운. 1995. Bootstrap 방법의 이해. 통계논문집 2: 73-93.

7. 서연옥, 이영진, 이미향, 박상문, 박인협, 손요환, 손영모, 이경학. 2006. 예산지역 리기다소나무의 지상부 및 지하부 바이오매스 추정. 한국산림측정학회 9: 1-9.
8. 심준섭. 2004. 부스트래핑(bootstrapping) 기법을 활용한 회귀분석. 한국정책분석평가학회 14(2): 167-183.
9. 전명식, 정형철, 진서훈. 1997. 부스트래핑방법의 이해. 자유아카데미 pp. 100.
10. 최희진. 2001. 약물동력학 모형에서 비선형 혼합효과모형으로 분석한 모수 추정치의 정확성에 관한 연구(부트스트래핑방법을 이용하여). 서울대학교 석사논문 pp. 46.
11. Efron, B. 1979. Bootstrap methods : Another look at the jackknife. The annals of statistics 7: 1-26.
12. IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry Institute for Global Environmental Strategies. Kanagawa, Japan. pp. 576.
13. Lehtonen, A., Makipaa, R., Heikkinen, J. and Sievanen, R., Liski, J. 2004. Biomass expansion factors(BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. Forest Ecology and Management 188: 211-224.
14. Nicholas, R.V., Eric, C.T. and Martin, W.R. 2010. Bootstrap evaluation of a young douglas-Fir height growth model for the Pacific Northwest. Forest Science 56(6): 592-602.
15. Nogueira, E.M., Fearnside, P.H. and Nelson, B.W. 2008. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. Forest Ecology and Management 990-996.
16. Pajtik, J., Konopka, B. and Lukac, M. 2008. Biomass functions and expansion factors young Norway spruce(Picea abies{L.} Karst) trees. Forest Ecology and Management 256: 1096-1103.
17. Park, D.S., Kim, Y.B., Shin, K.I. and Willemain, T.R. 2001. Simulation output analysis using the threshold bootstrap. European Journal of Operational Research 134: 17-28.
18. SAS Institute, Inc., 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute, Inc. Cary. NC.
19. Takeshi, F., Yamashita, K. and Kuroda, K. 2007. Basic densities as a parameter for estimating the amount of carbon removal by forests and their variation. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute 6(4): 215-226.
20. Tsai, T.R. 2002. An application of weighted bootstrap method in semi-parametric model. Information Sciences 148: 221-231.

(2011년 6월 16일 접수, 2011년 8월 16일 채택)