J. Korean For. Soc. Vol. 104, No. 3, pp. 421~426 (2015)
http://dx.doi.org/10.14578/jkfs.2015.104.3.421

한국임학회지
JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY
ISSN 0445-4650(Print), ISSN 2289-0904(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

삼나무 임분수확량 평가 및 예측

손영모[1]* · 강진택[1] · 황정순[1] · 박 현[1] · 이광수[2]
[1]국립산림과학원 산림산업연구과, [2]국립산림과학원 남부산림자원연구소

Assessment and Prediction of Stand Yield in *Cryptomeria japonica* Stands

Yeong Mo Son[1]*, Jin Taek Kang[1], Jeong Sun Hwang[1], Hyun Park[1] and Kang Su Lee[2]
[1]Div. of Forest Industry Research, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
[2]Southern Forest Resource Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

요 약: 본 연구는 우리나라 삼나무의 생장 및 수확량 평가와 탄소저장 및 흡수량을 알아보기 위하여 수행되었다. 조사구는 전남, 경남 및 제주지역에 정상적으로 생육하는 삼나무 집단지에서 총 106개 표준지를 선정(이상치를 제외한 92개소 이용)하였다. 그리고 분석을 위하여 Weibull 직경분포 모델을 적용시켰다. 직경분포 추정을 위하여 흉고직경, 흉고단면적, 수고 등 생장인자별 생장 추정식을 도출하고, 이들에 대한 적합성을 검증하였다. 그리고 삼나무에 대한 지역별 임지생산력을 파악할 수 있는 지위지수를 Schumacher 모델로서 개발하였으며, 지위지수 추정의 기준임령은 30년으로 정하였다. 우리나라 삼나무의 지위지수 범위는 10~16에 있는 것으로 나타났으며, 이를 기준으로 임분수확표를 조제하였다. 임분수확표 지위 14에 의하면, 25년생일 때 연평균생장량(MAI)이 7.6 m^3/ha인 것으로 나타나며, 임목축적 190.1 m^3/ha이 될 것으로 예측되었다. 이는 편백보다 20 m^3 정도 높은 값이었다. 그리고 삼나무의 연간 탄소흡수량은 임령 25년에 2.14 tC/ha/yr, 7.83 tCO_2/ha/yr 으로 최대값을 갖는 것으로 나타났다. 이를 타 침엽수와 비교해 보면, 편백(7.5tCO_2/ha/yr)보다는 약간 높은 수준이나, 잣나무 10.4 tCO_2/ha/yr, 낙엽송 11.2 tCO_2/ha/yr 보다는 낮은 수치였다. 이러한 연구결과를 기반으로 삼나무의 생장 정보 활용 뿐만아니라 목재로서의 이용을 제고할 수 있는 방안 마련이 필요하다고 사료된다.

Abstract: The objective of this paper is to look into the growth of *Cryptomeria japonica* stand in South Korea along with the evaluation on their yields, followed by their carbon stocks and removals. A total of 106 sample plots were selected from Jeonnam, Gyeongnam, and Jeju, where the groups of standard are grown. We only used 92 plots data except outlier. As part of the analysis, the Weibull diameter distribution was applied. In order to estimate the diameter distribution, the growth estimation equation for each of the growth factors including the height, the diameter at breast height, and the basal area was drafted out and the verification for each equation was examined. The site index for figuring out the forest productivity of *Cryptomeria japonica* stand for each district was also developed as a Schumacher model and 30yr was used as a reference age for the estimation of the site index. It was found that the site index for *Cryptomeria japonica* stand in South Korea ranges from 10 to 16 and this result was used as a standard for developing the stand yield table. According to the site 14 in the stand yield table, the mean annual increment (MAI) of the *Cryptomeria japonica* reaches 7.6 m^3/ha on its 25yr and its growing stock is estimated to be at 190.1 m^3/ha. This volume is about 20 m^3 as high as that of the *Chamaesyparis obtusa*. Furthermore, the annual carbon absorptions for a *Cryptomeria japonica* stand reached the peak at 25yr, which is 2.14 tC/ha/yr, 7.83 tCO_2/ha/yr. When compared to the other conifers, this rate is slightly higher than that of a *Chamaecyparis obtusa* (7.5 tCO_2/ha/yr) but lower than that of the *Pinus koraiensis* (10.4 tCO_2/ha/yr) and *Larix kaempferi* (11.2 tCO_2/ha/yr). With such research result as a base, it is necessary to come up with the ways to enhance the utilization of *Cryptomeria japonica* as timbers, besides making use of their growth data.

Key words: Chamaecyparis obtusa, Cryptomeria japonica*, Stand yield table, carbon stocks and removals*

*Corresponding author
E-mail: treelove@korea.kr

서 론

우리나라 남부 및 해안 도서 지역에 생육하고 있는 삼나무(*Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don)는 상록침엽교목으로 수고 45 m, 직경 2 m에 달할 수 있으며, 천연적으로는 일본에만 분포하는 것으로 알려져 있다. 우리나라에는 1924년에 도입되어 전남, 경남 이남 지역의 주요 조림수종으로 많이 식재하고 있으며 제주도에서는 방풍림으로 식재된 바 있다(Kim, 2002).

임업연구원(1985)에서 밝힌 우리나라에서의 삼나무 생육 최적조건은 연평균기온 13°C이상, 강수량 1,200 mm이상, 표고 400 m이하, 경사도 11~20°, 사면방위 북서·북·북동 등인 것으로 보고한 바 있다. 그리고 Kim et al.(1977)은 일본과 우리나라의 삼나무 생장비교에 있어 20년까지의 재적수확량은 차이가 없으나, 그 이후는 국내에서의 생장이 떨어지며, 평균생장량 최고 수령기가 일본 秋田(Akita)지방에서는 60년인데 비하여 우리나라는 35년으로 일찍 생장 정지기가 도래한다고 밝힌 바 있다.

현재 우리나라 삼나무는 1924년부터 조림되었으며 현재 총 면적은 8,646 ha로, 전체 산림면적 대비 0.14%, 인공림 대비 약 5%를 차지하고 있어 수종별 면적 점유비는 그다지 많지 않다. 그러나 세계 원목시장 가격 상승세의 지속과 각국의 산림보호 정책의 확대 및 부가가치화 노력에 따른 원자재 수입 및 확보가 점차 어려워지는 현실과 목재수요를 높이기 위해서는 국내산 산림자원의 활용도를 높여야 한다는 점에서 삼나무의 활용도 고려해 볼 필요가 있다(Lee et al., 2011)

국내에서 삼나무 생장에 대한 연구로는 Kim et al.(1977)이 삼나무 92개소 표준에서의 임분수확표 및 지위지수분류도를 조제한 것이 시발점이라 할 수 있다. Kim(1987)에 의하여 처음으로 삼나무에 대한 입목간재적표가 작성되어 아직 활용되고 있으며, 또한 Kim et al.(1990)은 삼나무의 벌기령을 50년으로 추정한 바 있다. 현재 국내에서 구조재로 이용되고 있는 낙엽송 또는 소나무에 비해 밀도가 낮아 강도 성능이 떨어지며, 이를 이유로 구조재로 이용되지 못하고 있다. 또한 구조 성능에 대한 평가도 미비하여 구조재로서의 역할도 못하고 있다. 따라서 지금까지는 구조용재 보다는 내,외장재로 많이 사용하여 왔으며, 국내 일부 연구에 의하면 삼나무도 구조용 집성재 이용을 통한 고부가 가치의 재창출을 도모할 수 있는 수종이라고 보고한 바 있다(Kim et al., 2009).

삼나무의 주 생육지인 일본에서는 Okita(1960)는 鳥取縣 삼나무림의 지위지수를 분류한 후 각 지위급별 이화학적 성질과 임상식생의 대응관계를 지수로 표시한 바 있고, Terasaki(1964)는 秋田지방 삼나무림의 고정수확시험지 조사 결과로서 임분구성인자의 생장과 수확에 대한 구명을 하였으며, Kozaka(1964)는 靑森지방 삼나무 시험지를 조사하여 현실 임분수확표와의 차이를 제시하고 임분해석을 통한 동적인 자료와 현실임분의 정적인 인자로 수확표를 조제할 필요가 있다고 하였다. 최근 Asano(2010)는 종래의 정적인 임분수확표 조제 방법을 탈피하여 적절한 시업(간벌)을 수행하였을 시 임분생장을 예측한 시스템수확표를 조제한 바 있다.

따라서 본 연구는 안정화에 접어든 우리나라 삼나무의 생장량 구명 및 수확량을 예측하고자 수행되었으며, 이를 통하여 탄소저장량 및 흡수량을 산정하여 기상이변에 의한 수종별 생육지역 북상 대비 및 산림경영의사결정의 기초 자료로 삼고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 자료

삼나무 생장을 조사한 지역은 경남, 전남 및 제주지역의 대표적 군락지였으며, 이들 지역 중 정상적 생육지를 대상으로 하여 표준지를 선정하였다. 조사지는 국소적인 지형 및 분포 범위에 따라 정방형 또는 장방형 등으로 자유롭게 모양 및 크기를 택하였으며, 총 조사구 수는 106개소였다. 조사구 형태를 자유롭게 정한 것은 일부 지역에 생장하는 삼나무 집단이 길게 대상으로 형성되어 있을 경우 길게 장방형으로 표준지를 설치하였고, 임령이 유령인 곳은 조사구 크기를 10×10 m으로 작게 설치하는 등 경우에 따라 표준지 형태를 융통성있게 조정한 결과이다. Chapman and Meyer(1947)는 임분수확표를 조제하기 위하여 필요한 조사구 개소수는 지역에 따라 다르지만, 100~300개소가 필요하다고 밝힌 바 있다. 표준지내 임목은 전수조사를 실시하였으며, 개체목별 흉고직경은 직경

Table 1. Characteristic of growth factors in *Cryptomeria japonica* stand.

Species \ Growth factors	Age (year)	DBH (cm)	Basal area (m^2/ha)	Height (m)	Tree no./ha
Cryptomeria japonica	27 7–68	20.2 2.0–58.0	32.8 3.3–58.7	11.9 2.0–27.1	1,410 340–4,100

(Note) Mean / Minimun–Maximun

테이프로, 수고는 하가로프 수고측정기를 이용하였다. 임령은 삼나무가 대부분 인공림이었기에 조림대상의 확인 또는 생장추를 이용하여 측정하였다. 표준지의 임목생장 개황은 다음과 같다.

2. 분석 방법

1) 임분 수확량 추정 방법

삼나무 임분에 대한 생장 및 수확량 예측을 위하여 먼저 직경급 분포 분석이 필요한데, 이는 Weibull 확률밀도함수를 이용한 직경분포모델을 적용시켰으며(Garcia, 1981), 모델의 모수 추정(estimation), 모수 적합(recovery), 모수 예측(prediction)의 절차를 거쳐 임분수확량을 평가(임분수확표 조제)하였다. 임분수확량 즉, ha당 임분축적은 삼나무 재적식을 이용하여 경급별로 재적을 측정한 후, 이를 본수로 곱하여 산출하였다. 그리고 초기 조사된 106개 표준지 중 흉고단면적이 100 m^2/ha를 넘는다거나 수고 측정상 오류인 경급별 하향세 또는 기록 오류인 것 등이 발견되어 이를 기각하고 실제 이용한 표준지 수는 92개소이다.

2) 이산화탄소 저장 및 흡수량 추정 방법

삼나무 면적과 단위면적 당 축적량이 상기의 분석 방법을 통해 산정됨으로, IPCC GPG(2003)가 제시하는 방법에 의해 탄소배출계수를 적용시키면 탄소저장량을 도출할 수가 있으며, 이용한 탄소배출계수(Table 2)는 국립산림과학원에서 산림부문 국가 온실가스 산정을 위하여 2006년부터 2013년까지 주요 22개 수종에 대한 탄소배출계수를 만든 바 있는데, 그중 삼나무에 대한 계수를 이용하였다(Son et al., 2014).

탄소저장 및 흡수량 = 임목축적(또는 생장량) × 탄소배출계수(W, BEF, R)

Table 2. Carbon emission factors of *Cryptomeria japonica* stand.

Species \ Carbon emission factors	Basic wood density (W)	Biomass expansion factor (BEF)	Root-shoot ratio (R)
Cryptomeria japonica	0.347	1.313	0.233

결과 및 고찰

1. 직경분포모델 적용을 위한 임분생장 추정

1) 임목 생장인자별 임분생장식 추정

삼나무 임분직경분포 추정 및 예측을 위하여 Weibull 직경분포확률함수를 이용하였으며, 흉고직경, 최소직경 및 최대직경, 흉고단면적 및 수고추정을 위하여 <Table 3>과 같은 생장식을 추정하고, 식의 설명력을 평가하기 위하여 적합도지수(Fitness index, FI)를 도출하였다. 최적의 흉고직경 및 흉고단면적을 추정하기 위하여 지수식, Chapman-Richards식, Schumacher식, Weibull식 등을 적용시켰으며, 이들 식 중 적합도 및 검증통계치 등을 고려하여 Chapman-Richards식을 최적 추정식으로 선정하였다. 수고추정모델은 직경누적밀도(fxad)를 갖는 식을 이용하였는데, 이 모델은 우세목 수고를 기준으로 해당 경급까지의 누적밀도와 임령을 이용하여 보정하는 형태를 취함으로서 이론적으로 수고를 추정하는데 우수한 구조를 가지고 있으며, 누적된 직경분포는 마치 수고곡선의 전형적인 형태인 sigmoid 모양을 가져 모델의 신뢰성을 더 높여 주어 이를 이용하였다. 상기와 같은 일련의 방법은 국립산림과학원에서 주요 11개 수종의 임분수확표를 만들 때 이용하였던 방법과 동일하다(Son et al., 2004).

임분직경분포를 추정하는 이유는 임분 내 간벌을 수행할 시 임령별, 경급별 본수 또는 재적을 빠르게 선정하여 간벌량을 알 수 있도록 하기 위함이며, 이러한 구조가 동적 생장모델의 근간이 된다. <Table 3>에서 임분 흉고단면적의 경우는 임령(age)과 지위지수(SI)를 변수로 하는 추정식인데, 흉고직경(cm)이 1차원적 인자인데 비하여, 단면적(m^2)은 2차원적 인자인 관계로 식의 설명력이 상대적으로 흉고직경을 추정할 때 보다 떨어지는 경향을 보인다. 이와 같은 결과는 Son et al.(2014)의 아까시나무 임분생장 연구에서와 같은 경향을 보여 주고 있다. 실제 단면적의 산포도를 그려보아도 흉고직경의 분포에 비해 그 범위가 더 넓게 확장되어 있음을 알 수 있었다.

수고추정식은 해당 경급까지의 우세목 수고 기준의 직경 누적량을 제시하는 형태인데, 임령을 이용하여 보정하

Table 3. Equations and fitness index by growth factors in *Cryptomeria japonica* stand.

Stand growth factors	Equations	Fitness index
DBH	$D = (14.9472 + 1.0881 \times SI) \times (1 - \exp(-0.0545 \times age))^{1.7446}$	0.7747
Basal area	$BA = (23.3156 + 1.2779 \times SI) \times (1 - \exp(-0.0881 \times age))^{2.3671}$	0.5460
Min. DBH	$Min.\ D = -2.0528 + 0.5677 \times D + 12.0388/H_D$	0.7188
Max. DBH	$Max.\ D = -0.4478 + 1.2939 \times D + 0.3235 \times H_D$	0.9013
Height	$H = H_D\left(0.421 + \frac{0.083}{H_D} \times age + 0.559 \times \ln(fxad+1) - \frac{0.053}{age} \times H_D \times \ln(fxad+1)\right)$	0.8893

Note) DBH: Diameter of breast height, SI: Site index, Age: Stand age

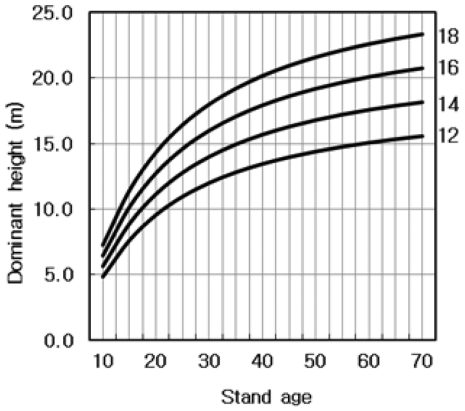

Figure 1. Site index curve in *Cryptomeria japonica* stand.

는 형태를 취함으로서 누적된 직경분포는 마치 수고곡선의 전형적인 형태인 S자 모양을 가져 모델의 신뢰성을 더 높여 주기 때문에 이와 같은 식이 이용되었다. 최소 및 최대 흉고직경을 추정한 것은 직경분포의 범위를 파악하고자 하는 것이며, 이 자료는 간벌에 따른 직경급 분포 감소를 표현할 때 이용할 수 있다.

2) 지위지수 추정 및 분류곡선도 조제

임지의 임목생산능력을 판단할 수 있는 지위지수 추정식은 우세목의 수고(H_D)와 임령을 변수로 하는 변형된 Schumacher 모델을 적용시켜 아래와 같이 도출하였으며(Clutter et al., 1983), 지위지수의 기준임령은 수고의 생장이 어느 정도 안정화에 접어드는 30년을 기준으로 하였다. 현재 우리나라에 생육하는 삼나무의 지위지수 범위는 12~18의 범위에 있는 것으로 나타났다. 현지 조사에 의하면, 제주 서귀포 지역의 삼나무에 대한 우세목의 크기는 20 m를 모두 상회하는데, 분석 결과는 전국적인 평균인 관계로 약간 하향된 것 같다. 추후 제주 지역과 육지지역의 생장을 상호 비교해 볼 필요도 있을 것으로 판단된다.

$$SI = e^{\left[\log(H_D) + 13.203882 \times \left(\frac{1}{age} - \frac{1}{30}\right)\right]}$$

(여기서, SI: 지위지수, HD: 우세목 수고, age: 임령)

2. 임분수확량 예측

1) 임분재적 추정

직경분포모델을 이용하여 삼나무 임분재적을 추정한 결과 검정통계량은 다음과 같으며, 식의 적합성은 약 65% 정도로 나타났다. 그리고 삼나무의 실제 재적값과 추정값 간을 비교한 바 <Figure 2>와 같이 나타났다. 편의(bias)가 약간 큰 값(6.3836)을 갖는 것은 재적량 단위가 백단위 이상이면서 실측 재적과 예측 재적 상호간 잔차분포의 범위가 넓음을 의미하는 것이다. 그러나 실측치와 예측치 간의 분산도에서도 나타나고 있듯이 삼나무 재적을 예측하는데는 별다른 문제는 없을 것으로 판단된다. 다만 조사된 국내 삼나무 생육집단의 노령기 자료의 부재로 50년 이상의 결과에 대한 신뢰도가 다소 떨어질 것이 예상된다. 추후 이를 보완할 기회가 있으면 조사, 분석을 통하여 장기적인 정밀 예측을 시도해 보고자 한다.

Table 4. Test statistic for stand volume equation in *Cryptomeria japonica* stand.

Species	FI	SEE	Bias	MAD
Cryptomeria japonica	0.7551	63.2729	6.3836	63.2950

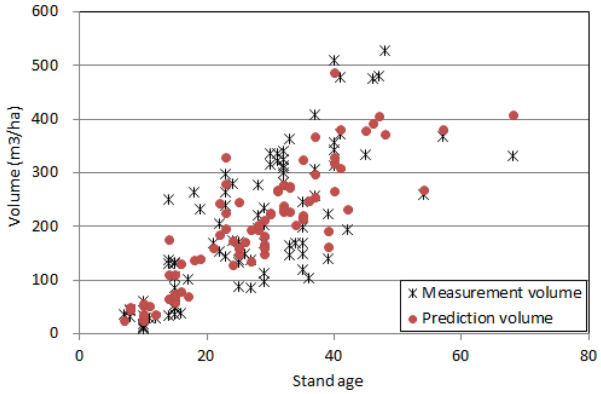

Figure 2. Comparison between measurement volume data and prediction volume data in *Cryptomeria japonica* stand.

2) 임분생장량 평가 및 예측표

삼나무 임분의 수확량을 알 수 있는 임분수확표를 상기의 추정식들을 이용하여 조제한 결과 아래와 같으며, 분석 결과 조제된 수확표 상 지위 14에 의하면, 25년생일 때 연평균생장량(Mean annual increment, MAI)이 7.6 m^3/ha인 것으로 나타나며, 임목축적 190.1 m^3/ha이 될 것으로 예측되었다. 이를 기존 개발한 임분수확표(2014)의 편백(160 m^3/ha)과 비교하였을 경우, 약 20 m^3 정도가 높아 남부지역의 주요 수종인 두 수종을 놓고 볼 때 지력에 따른 생장율이 편백보다 상대적으로 높은 수종임을 알 수 있었다. 앞서 언급한 바와 같이 임령 25년 전후에 최대 연평균생장(MAI)을 보이고 있으며, 이는 앞서 Kim et al.(1977)이 연구하여 언급한 35년보다 10년이 빠른 시기이다. 그러나 요즘 대부분의 수종별 임분수확표에 있어서도 MAI 최대 시기는 임령 20~30년이 대부분이다. Terasaki(1964)가 밝힌 일본 秋田지방 삼나무의 MAI 최대 시기가 60년이라고 한 것과는 비교가 불가할 것으로 보이며, 우리나라에서 이러한 장기간의 MAI를 갖는 수종은 아직 보고된 바가 없다.

3. 탄소저장량 및 흡수량 산정

임분수확표 상의 임목재적과 탄소배출계수를 적용하여

Table 5. Stand yield table of *Cryptomeria japonica* stand (Site index; 14).

Stand age	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Basal area (m^2/ha)	Tree number (No.)	Stand volume (m^3/ha)	Periodic increment (m^3/ha)	Periodic increment ratio (%)	Mean annual increment (m^3/ha)
10	6.65	5.06	11.61	3,353	39.2			3.92
15	10.93	7.47	19.77	2,168	92.6	10.69	16.21	6.18
20	14.77	9.29	26.38	1,610	144.8	10.43	8.79	7.24
25	18.02	10.70	31.23	1,304	190.1	9.06	5.41	7.60
30	20.68	11.85	34.60	1,101	227.5	7.48	3.58	7.58
35	22.81	12.84	36.88	972	255.4	5.58	2.31	7.30
40	24.48	13.70	38.39	875	279.5	4.82	1.80	6.99
45	25.80	14.48	39.38	804	298.8	3.86	1.34	6.64
50	26.82	15.20	40.02	769	315.0	3.23	1.05	6.30
55	27.60	15.86	40.44	726	332.0	3.40	1.05	6.04
60	28.21	16.49	40.71	681	345.9	2.78	0.82	5.77

Table 6. Carbon stocks and removals of *Cryptomeria japonica* stand (Site index; 14).

Stand age	Carbon stocks (tC/ha)	CO_2 stocks (tC/ha/yr)	Carbon removals (tC/ha/yr)	CO_2 removals (tCO_2/ha/yr)
10	11.0	40.4	1.1	4.0
15	26.0	95.4	1.7	6.4
20	40.7	149.1	2.0	7.5
25	53.4	195.8	2.1	7.8
30	63.9	234.3	2.1	7.8
35	71.7	263.1	2.0	7.5
40	78.5	287.9	2.0	7.2
45	83.9	307.8	1.9	6.8
50	88.5	324.4	1.8	6.5
55	93.3	341.9	1.7	6.2
60	97.2	356.2	1.6	5.9

탄소저장량 및 흡수량을 산정한 결과 다음과 같다. 연간 탄소흡수량 최대 시기는 역시 임령 25년에 2.14 tC/ha/yr, 7.83 tCO_2/ha/yr 인 것으로 나타났는데 이를 타 침엽수와 비교해 보면, 편백(7.5 tCO_2/ha/yr)보다는 약간 높은 수준이나, 다른 침엽수인 잣나무 10.4 tCO_2/ha/yr, 낙엽송 11.2 tCO_2/ha/yr 보다는 낮은 수치인 것으로 나타났다. 25년 기준 1본에 대한 탄소흡수량은 6.0 $kgCO_2$/tree인 것으로 계산되는데, 이는 편백(4.6 $kgCO_2$/tree) 보다 높은 수치이나, 잣나무, 낙엽송 보다는 낮은 수치이다. 참고적으로 우리나라 전체 침엽수 1본의 평균 이산화탄소 흡수량은 약 7 $kgCO_2$/tree인 것으로 보고되고 있다(Korea Forest Research Institute, 2012).

결 론

우리의 입장에서도 앞서 언급한 바 있지만, 세계 각국의 목재자원 보호정책 및 원목가격 상승 등에 대비하기 위해서는 그간 조림하여 성공한 목재를 이용할 필요가 있다. 이를 위해서는 우선적으로 이들이 어느 정도의 생장과 수확이 가능한 지를 파악하는 것이 우선 시 되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 삼나무에 대한 임분수확표를 조제함으로써 지역별로 또는 지위별로 현재의 임목생장량 평가가 가능하며, 또한 장래 수확량을 예측할 수 있는 기반을 구축하고자 하였다. 한편 본 연구에서는 주로 남부 및 난대지역에 생육하는 삼나무가 기후변화에 따른 기온 상승 등으로 생육지가 북상할 것에 대비하여, 과연 환경적으로 어떠한 영향을 미치는 지를 알 수 있는 척도인 탄소 및 이산화탄소 저장과 흡수량을 산정해 보았다.

삼나무는 편백과 함께 남부지역의 주요 조림수종인데, 동일한 입지여건(지위)을 고려할 때 삼나무의 생장이 약간 우세한 것(약 20 m^3/ha)으로 나타났으며, 이에 따라 탄소저장 및 흡수량도 높은 것으로 밝혀졌다. 다만, 잣나무, 낙엽송 등과 비교할 때는 탄소저장 및 흡수량이 약간 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고 삼나무의 생장이 가장 높은 시기는 임령이 약 25년정도에 이를 때 였으며, 이는 타 수종과 유사한 경향이었다.

추후 삼나무 생장에 대한 보다 정밀한 생장 및 환경적인 정보를 제공할 수 있도록 이들 주 생육지를 생태권별(또는 지역별)로 구분하여 다양한 분석을 할 필요가 있으며, 또한 삼나무 노령기에 대한 정보 확보로 장기적인 임분수확량의 정확한 예측 및 이용적 측면을 보다 폭 넓게 구명할 필요가 있을 것이다.

References

Asano, H.Y. 2010, Ajusutment of The sysytem yield for Cryptomeria jaonica in Gunma prefecture, Gunma a Forestry Experiment Station Research Paper, 15: 39-44.

Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H., and Bailey, R.L. 1983. Timber management -A quantitative approach-.

John Wiley & Sons. pp. 333.

Garcia, O. 1981. Simplified method-of-moments estimation for the Weibull distribution. New Zealand Journal of Forestry Science 11(3): 304-306.

IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.

IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4 Agriculture, forestry and other land use. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.

Kim, D.C. and Yoo, J.W. 1977. A study on the growth and yield of *Cryptomeria*, Japanese Cypress stand. Research reports of Forest Research Institute 24:5-30.

Kim, K.M., Shim, S.R., Shim, K.B., Park, J.S., Kim, W.S., Kim, B.N., and Yeo, H.M. 2009. Development of structural glued laminated timber with domestic cedar. Mokchae konghak 37(3):184-191.

Kim, T.U. 2002. The woody plants of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. pp. 38.

Kim, Y.H. 1987. A study of stem volume table of *Cryptomeria japonica* in Korea. Research reports of Forest Research Institute 34: 22-31.

Kim, Y.H. and Lee, H.K. 1990. Studies on the rotation age for major tree species(II) -on the characteristics of stand growth and rotation age for *Cryptomeria japonica*, *Chamaesyparis obtusa* and *Populus euramericana*-. Research reports of Forest Research Institute 41: 114-120.

Korea Forest Research Institute and Korea Forest Service. 2014. Tree Volume·biomass and Stand Yield Table. 198p.

Korea Forest Research Institute. 2012. Standard carbon removal of major forest species. Korea Forest Research Institute, briefing memo.

Kozaka, J.I. 1964, Growth of a plantation of local cedar in Aomori, the law of the harvest, Forestry Journal Japan, 75: 92-95.

Lee, J.J., Yoo, H.M., Choi, I.G., and Lee, Y.W. 2011. Development of techniques for utilizing ceder plantation tree. Korea Forest Service. pp. 201.

Meyer, H.A. 1947. The structure and growth of rigida, beech, maple, hemlock forest in northern Pensylvania. Journal of Agriculture Research 12.

Okita, E.T. 1960. A Study on the forest tree growth of the redwood forest and soil conditions of the Tottori, Japanese forest workshop, 70.

Son, Y.M., Kim, R.H, Lee, K.H., Pyo, J.K., Kim, S.W., Hwang, J.S., Lee, S.J., and Park, H. 2014. Carbon emission factors and Biomass allometric equations by species in Korea. Korea Forest Research Institute Report 14-8. pp. 97.

Son, Y.M., Kim, S.W., Lee, S.J., and Kim, J.S. 2014. Estimation of stand yield and carbon stock for *Robinia pseudoacacia* stands in Korea. Journal of Korean Forest Society. 103(2): 264-269.

Son, Y.M., Lee, K.H., Kwon, S.D., and Lee, W.K. 2004. Forest value assessment and prediction by major species. Research reports of Korea Forest Research Institute 04-01. pp. 125.

Terasaki, Y.M. 1964. A study on the structure, growth and harvest of stand, Japan, a Forestry Experiment Station Research Paper 168: 1-306.

(Received: January 12, 2015; Accepted: September 10, 2015)