한국환경생태학회지 32(5): 507-512, 2018
*Korean J. Environ. Ecol.* 32(5): 507-512, October 2018

ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
https://doi.org/10.13047/KJEE.2018.32.5.507

# 전남 여수지역 곰솔의 현존량 확장계수, 상대생장식 및 임분 현존량[1a]

박인협[2*] · 김소담[3]

# Biomass Expansion Factors, Allometric Equations and Stand Biomass of *Pinus thunbergii* in Southern Korea[1a]

In-Hyeop Park[2*], So-Dam Kim[3]

## 요 약

곰솔의 줄기밀도, 현존량 확장계수, 상대생장식 및 임분 현존량을 파악하기 위하여 전라남도 여수지역에 위치하고 있는 15년생, 29년생, 45년생 등 3개 곰솔 천연임분을 대상으로 임분별 5주씩 총 15주의 표본목을 선정 벌목하여 조사하였다. 줄기밀도는 0.440-0.457g/cm³이었으며, 임분간 유의적인 차이는 없었다. 지상부와 뿌리를 포함한 임목 전체의 현존량 확장계수는 모두 임령이 증가할수록 감소하였으며, 임분 1은 지상부 현존량 확장계수에서 임분 2, 3과 유의적인 차이가 있었고, 임목 전체 현존량 확장계수에서 임분 3과 유의적인 차이가 있었다. 이것은 임령이 증가할수록 줄기의 건중량 구성비가 높아지기 때문이며, 임분 1의 경우 유령림의 생장특성을 보이기 때문으로 판단되었다. 흉고직경(D) 또는 흉고직경과 수고($D^2H$)를 독립변수로 하고 부위별 건중량(Wt)을 종속변수로 하는 2개 유형의 상대생장식($Wt=aD^b$, $Wt=a(D^2H)^b$)을 유도하고 적합도를 검정하였다. 임분 1, 2, 3의 지상부 현존량은 각각 50.72t/ha, 89.92t/ha, 194.07t/ha이었으며, 뿌리를 포함한 임목 전체 현존량은 각각 61.62t/ha, 113.12t/ha, 248.36t/ha이었다.

**주요어: 건중량 구성비, 줄기밀도**

## ABSTRACT

Three natural *Pinus thunbergii* stands in southern Korea were studied to investigate stem density, biomass expansion factors, allometric equations and stand biomass. Stand ages of stand 1, 2 and 3 were 15, 29 and 45 years old, respectively. Three 10m×10m plots were set up, five sample trees were cut and roots of three sample trees were excavated for dimension analysis in each stand. Stem density of stand 1, 2 and 3 were 0.450/cm³, 0.440/cm³ and 0.457g/cm³, respectively, and there was no significant difference among the three stands. Biomass expansion factors of above-ground and total tree decreased with increasing stand age. Above-ground biomass expansion factor of stand 1 was significantly higher than those of stand 2 and 3, and total tree biomass expansion factor of stand 1 was significantly higher than that of stand 3. Allometric equations were developed for the 15 sample trees of the three stands based on D or $D^2H$. Above-ground biomass of stand 1, 2 and 3 were

1 접수 2018년 7월 30일, 수정 (1차: 2018년 9월 19일), 게재확정 2018년 10월 8일
Received 30 July 2018; Revised (1st: 19 September 2018); Accepted 8 October 2018
2 순천대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Sunchon National Univ., Suncheon(54922), Korea
3 국립수목원 산림자원보존과 Plant Conservation Division, Korea National Arboretum, Pocheon(11186), Korea (sodam0321@korea.kr)
a 이 논문은 2017년 순천대학교 학술연구비로 연구되었음.
* 교신저자 Corresponding author: inhyeop@sunchon.ac.kr

50.72t/ha, 89.92t/ha, 194.07t/ha, respectively, and total tree biomass of stand 1, 2 and 3 were 61.62t/ha, 113.12t/ha, 248.36t/ha, respetively.

***KEY WORDS : DRY WEIGHT DISTRIBUTION, STEM DENSITY***

# 서 론

화석연료의 사용 증가와 대규모 벌채 등으로 인한 대기 중 $CO_2$ 농도의 증가와 지구 온난화는 세계적인 환경문제로 대두되고 있으며, 교토 의정서를 계기로 산림에 의한 지구 온난화 방지를 위한 국제적인 노력이 모색되고 있다. 이와 관련하여 세계의 주요국들은 산림의 탄소 축적량을 추정하는 연구가 이루어지고 있으며, 국내에서도 전국 규모 산림의 탄소 축적량에 대한 연구가 진행되고 있다(Korea Forest Research Institute, 2010). 임목은 광합성을 통하여 대기 중의 탄소를 체내 물질로 전환시켜 축적한다. 식물체를 구성하고 있는 원소 중 그 양이 가장 많은 것이 탄소로서, 임목의 경우 건중량의 약 50%가 탄소이다(Satoo and Madgwick, 1982). 산림의 개략적인 탄소 축적량은 임목 전체의 건중량에 탄소 구성비 0.5를 곱함으로써 산출할 수 있으며, 산림의 탄소 축적량을 파악하기 위해서는 임목 전체의 건중량 즉, 현존량(biomass)을 추정하는 것이 선행 과제이다.

산림의 임목 현존량은 적정 수의 표본목을 벌목 조사하여 흉고직경 등을 독립변수로 하고 건중량을 종속변수로 하는 상대생장식을 유도한 후 매목조사시 측정한 흉고직경 등을 대입함으로써 추정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다(Whittaker and Marks, 1975). 그러나 전국 규모의 산림 조사를 위한 현존량 추정의 경우 상대생장식에 의한 방법은 현실적으로 어려움이 있다. 국제적인 기후변화협약과 관련된 IPCC(2003)에서는 탄소 축적량 조사를 위한 전국 규모의 산림 현존량 추정 방법으로서 국가별 임업통계상의 임목축적 즉, 줄기재적을 이용한 방법을 권장하고 있다. 산림의 임목 현존량은 줄기의 건중량 대 재적 비인 줄기밀도와 임목 전체 건중량 대 줄기 건중량 비인 현존량 확장계수에 의하여 임목축적×줄기밀도×현존량 확장계수로서 산출할 수 있다(IPCC, 2003). 이와 관련된 국내외의 연구를 종합하면 줄기밀도와 현존량 확장계수는 수종, 수령 등에 따라 다른 것으로 보고되고 있다(Satoo and Madgwick, 1982; Johnson and Sharpe, 1983; Kauppi *et al*.,1992; IPCC, 2003; Park *et al*., 2005; Kang *et al*., 2016). 따라서, 전국 규모의 주요 수종 및 임상별, 영급별 임목축적이 조사되어 있는 한국(Korea Forest Service, 2017)의 경우 주요 수종별 줄기밀도와 현존량확장계수를 구명함으로써 산림 현존량을 추정할 수 있으며, 보다 정확한 현존량 추정을 위해서는 적정 범위의 영급별 줄기밀도와 현존량확장계수를 적용하는 것이 필요하다. 곰솔은 북위 37° 이남으로 서해안에서는 경기도 남양지역, 동해안에서는 강원도 울진지역까지 해안으로부터 2km 이내의 폭으로 분포하며, 남해안에서는 4km 이상 떨어진 곳까지 분포하는 해안가의 대표적인 수종이다(Yim, 1991).

이 연구는 곰솔이 순림을 이루고 영급별 임분이 비교적 고르게 분포하는 지역으로서 전라남도 여수지역의 곰솔을 대상으로 임령에 따른 줄기밀도와 현존량 확장계수를 구명하고 효과적인 현존량 상대생장식을 유도하며 임분 현존량을 추정함으로써 산림의 탄소 축적량 추정과 임목 전체 이용을 위한 산림자원의 재평가에 필요한 정보를 제공하는데 목적이 있다.

# 재료 및 방법

## 1. 조사지 개황

현존량 확장계수는 동일 수종일지라도 수령에 따라 다르며(IPCC, 2003), 산림청의 임업통계연보(Korea Forest Service, 2017)에서 제시한 임목 축적 자료의 최대 영급이 51-60년인 Ⅵ영급인 것을 고려하여, 전라남도 여수시 돌산면 둔전리 일대에 분포하는 곰솔을 대상으로 임상도와 예비답사를 통하여 20년생 이하, 21-40년생, 41-60년생 임분 등 3개 수준의 20년 영급으로 구분하여 3개 임분을 선정하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of the study *Pinus thunbergii* stands

| | Stand 1 | Stand 2 | Stand 3 |
|---|---|---|---|
| Range of age(yr)* | 15-16 | 26-33 | 44-46 |
| Mean age(yr)* | 15 | 29 | 45 |
| Latitude | 34°65′23″ | 34°65′04″ | 34°65′03″ |
| Logitude | 127°78′39″ | 127°78′24″ | 127°78′32″ |
| Altitude(m) | 80 | 80 | 110 |
| Aspect | W | NW | NW |
| Slope(°) | 5 | 8 | 15 |
| Density(trees/300m²) | 116 | 44 | 31 |
| Mean DBH(cm) | 8.1(1.4) | 15.0(3.3) | 23.2(6.6) |
| Mean height(m)* | 4.8(0.1) | 10.1(0.3) | 14.7(1.3) |

*Measurements of the sample trees
Values in parentheses are one standard deviations of the means.

### 2. 표본목 선정 및 측정

임분별 10m×10m 조사구를 3개씩 설치하여 상층목의 매목조사를 한 후 흉고직경급이 고르게 분포하도록 임분별 5주씩 총 15주의 표본목을 선정하였다. 표본목의 수와 선정 방법은 Park *et al*.(2005), Kang *et al*.(2016) 등의 보고를 참조하였다. 선정된 표목의 흉고직경은 임분 1에서 각각 6.5cm, 7.4cm, 8.3cm, 9.3cm, 10.1cm, 임분 2에서 각각 11.8cm, 13.6cm, 15.2cm, 16.7cm, 18.2cm, 임분 3에서 각각 18.5cm, 20.6cm, 23.4cm, 26.1cm, 28.5cm이었다. 표본목의 평균 수고는 임분 1, 2, 3에서 각각 4.8m, 10.1m, 14.7m이었다(Table 1). 15주의 표본목을 벌목하여 줄기, 가지, 잎으로 구분한 후 다음의 각 항목을 조사하였다. 줄기는 지상 0.2m 높이에서 2m 간격으로 절단하여 생중량을 측정한 후 2m 길이로 절단한 각 통나무의 중앙부에서 5-10cm 두께의 원판을 채취하였다. 지상 0.2m 이하의 부분은 인접한 통나무에 포함시켰다. 원판은 생중량을 측정한 후 수피내직경, 수피외직경, 수피재적, 연륜수 등과 수간석해용 자료를 측정하였다. 그리고 85℃에서 항량이될 때까지 건조시켜 건중량을 측정한 후 수피를 분리하여 수피건중량을 측정하였다. 측정치에 의하여 각 원판의 건중량대 생중량비, 수피건중량대 수피재적비 등을 산정하였다. 가지와 잎은 표본목별 생중량을 각각 측정한 후 임분별 3주씩 각각 1,000g 정도의 시료를 취하여 건중량대 생중량비를 구하였다. 뿌리는 임분별 3개 표본목의 뿌리를 가급적 전량 굴취하여 생중량을 측정하고 시료를 채취하여 건중량 대 생중량비를 산정하였다.

### 3. 표본목의 부위별 건중량

각 표본목의 줄기 건중량은 2m 길이의 통나무 생중량과 중앙부 원판의 건중량대 생중량비에 의하여 산출된 통나무 건중량의 합으로 하였다. 수피의 건중량은 원판 측정치에 의하여 산출된 통나무의 수피재적과 원판의 수피건중량대 수피재적비에 의하여 산출된 각 통나무의 수피건중량을 합산함으로써 구하였다. 목질부 건중량은 줄기의 건중량에서 수피건중량을 뺀 값으로 하였다. 가지, 잎, 뿌리의 건중량은 각각의 생중량과 시료의 건중량대 생중량비에 의하여 산정하였다.

### 4. 줄기밀도와 현존량 확장계수

표본목의 수간석해와 부위별 건중량 측정치에 의하여 표본목별 줄기밀도와 현존량 확장계수를 산출하였다. 줄기밀도는 수피를 포함한 줄기의 건중량 대 생재적 비로 하였으며, 현존량 확장계수는 줄기의 건중량에 대한 임목 전체의 건중량 비를 산출하였다. 이상의 자료들은 SAS(1988)에 의하여 분산분석과 Duncan의 다중검정 등의 통계분석을 하였다.

### 5. 상대생장식과 임분 현존량

3개 임분별 5주씩 총 15주의 표본목 측정치에 의하여 일반적으로 적용되고 있는 흉고직경(D) 또는 흉고직경과 수고($D^2H$)를 독립변수로 하고 부위별 건중량(Wt)을 종속변수로 하는 2개 유형의 상대생장식($Wt=aD^b$, $Wt=a(D^2H)^b$)을 유도하고 적합도를 검정하였다(Whittaker and Marks, 1975). 임분 현존량은 임분별 조사구내 매목조사시 측정한 개체목의 흉고직경과 흉고직경을 독립변수로 하는 상대생장식($Wt=aD^b$)에 의하여 추정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 표본목 측정

임분별 표본목의 지상부 각 부위의 건중량 구성비와 뿌리대 줄기+가지 비의 평균치 및 분산분석과 Duncan의 다중검정 결과는 Table 2와 같다. 임분 1, 2, 3으로 갈수록 즉, 임령이 증가함에 따라 줄기의 건중량 구성비는 증가하는 반면 가지와 잎의 건중량 구성비는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Whittaker and Marks(1975)의 보고와 동일한 것으로서, 줄기는 지속적인 축적기관이며, 가지는

Table 2. Above-ground dry weight distribution and root/shoot ratio for the sample trees in the *Pinus thunbergii* stands

| | Above-ground dry weight distribution(%) | | | | | Root/shoot ratio* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Stem wood | Stem bark | Stem | Branches | Foliage | |
| Stand 1 | 40.7 b | 10.9 | 51.6 b | 26.0 a | 22.4 a | 0.251 |
| Stand 2 | 57.5 a | 10.2 | 67.7 a | 19.8 ab | 12.5 b | 0.297 |
| Stand 3 | 66.9 a | 8.2 | 75.1 a | 16.9 b | 8.0 b | 0.293 |
| F-test significant level | 0.0007 | 0.137ns | 0.005 | 0.036 | 0.0004 | 0.149ns |

*ratio of root dry weight to stem and branch dry weight
Means with different letters within columns are statistically different at $p<0.05$.
nsnot significantly different at $p<0.05$

비교적 단기간의 축적기관이고 잎의 경우 비축적기관이기 때문이라고 할 수 있다. 동일 수종의 경우 뿌리 대 줄기+가지의 비는 수령이 증가할수록 감소한다는 보고(Harris *et al*., 1973)를 고려하면, 본 연구에서 임령에 따른 일정한 경향이 없는 것은 뿌리의 표본수가 적어서 불확실성이 비교적 높기 때문이라고 할 수 있다(Park *et al*., 2005; Kang *et al*., 2016). 조사 임분 전체의 뿌리 대 줄기+가지 비는 0.251-0.297로서, 기존의 연구들을 종합한 결과인 소경목과 중경목 0.2-0.3(Art and Marks, 1971)과 비슷한 수준이었다.

## 2. 줄기밀도와 현존량 확장계수

줄기밀도는 임분간 유의적인 차이가 없었으며 0.440-0.457g/cm³로서(Table 3), 금강형 소나무 0.316-0.426g/cm³과 중부지방 소나무 0.391-0.431g/cm³(Park *et al*., 2005), 일본 침엽수림의 평균치 0.37g/cm³(Forestry Experiment Station, 1982) 보다 높은 값을 보였다. 지상부와 뿌리를 포함한 임목 전체의 현존량확장계수는 모두 임령이 증가할수록 감소하였으며, 임분 1은 지상부 현존량 확장계수에서 임분 2, 3과 유의적인 차이가 있었고, 임목 전체 현존량 확장계수에서 임분 3과 유의적인 차이가 있었다. 이것은 임령이 증가할수록 줄기의 건중량 구성비가 높아지기 때문이며(Table 2), 임분 1의 경우 유령림의 생장특성을 보이기 때문으로 판단된다. 또한 확장계수에 의하여 현존량을 추정할 경우 임령이 11-20년인 Ⅱ영급 이하의 유령림은 확장계수를 달리 적용하는 것이 정확도를 높일 수 있음을 시사한다. 뿌리를 포함한 임목전체의 현존량 확장계수는 1.693-2.408로서, 일본의 삼나무 1.39-2.86과 편백 1.48-2.88(Fukuda *et al*., 2003)과 유사하였으며, 본 조사와 임령이 비슷한 16-45년생 중부지방 소나무 1.780-2.699(Park *et al*., 2005) 보다 다소 낮고, 18-48년생 금강형 소나무 1.442-1.671(Park *et al*., 2005) 보다 높았다.

## 3. 상대생장식과 임분 현존량

3개 임분 전체 15주의 표본목 측정치에 의하여 유도된 부위별 현존량 상대생장식과 적합도 검정 결과는 Table 4와 같다. 상대생장식의 적합도 검정에 있어서 결정계수($R^2$)는

Table 3. Stem density and biomass expansion factors for the sample trees in the *Pinus thunbergii* stands

| | Stem density (g/cm³)* | Biomass expansion factor** | |
|---|---|---|---|
| | | Above-ground | Tree total |
| Stand 1 | 0.450 | 2.019 a | 2.408 a |
| Stand 2 | 0.440 | 1.489 b | 1.876 ab |
| Stand 3 | 0.457 | 1.334 b | 1.693 b |
| F-test significant level | 0.209ns | 0.019 | 0.029 |

*stem dry weight(g) / stem fresh volume(cm³)
**total dry weight(g) / stem dry weight(g)
Means with different letters within columns are statistically different at $p<0.05$.
nsnot significantly different at $p<0.05$

Table 4. Biomass equations for all sample trees of three *Pinus thunbergii* stands. Wt, D and H are dry weight in g, DBH in cm and height in m, respectively. e is the estimate of rellative error.

| Tree componenet | $Wt=aD^b$ | | | | $Wt=a(D^2H)^b$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | $R^2$ | e | a | b | $R^2$ | e |
| Stem wood | 12.387 | 2.911 | 0.99 | 0.13 | 20.277 | 0.963 | 0.99 | 0.11 |
| Stem bark | 14.514 | 2.196 | 0.97 | 0.19 | 20.877 | 0.728 | 0.98 | 0.17 |
| Stem | 19.490 | 2.804 | 0.99 | 0.12 | 31.322 | 0.928 | 0.99 | 0.11 |
| Branches | 25.955 | 2.244 | 0.92 | 0.30 | 41.616 | 0.730 | 0.90 | 0.37 |
| Foliage | 77.554 | 1.662 | 0.91 | 0.27 | 108.738 | 0.542 | 0.89 | 0.32 |
| Above-ground total | 62.218 | 2.528 | 0.99 | 0.12 | 98.291 | 0.832 | 0.99 | 0.10 |
| Roots | 7.379 | 2.798 | 0.98 | 0.21 | 12.205 | 0.922 | 0.97 | 0.18 |
| Tree total | 67.863 | 2.577 | 0.99 | 0.11 | 108.091 | 0.849 | 0.99 | 0.10 |

표본목의 흉고직경 범위에 영향을 받기 때문에, 상대생장식에 대한 측정치의 산포도 즉, 적합도는 상대오차추정치(estimates of relative error, e)에 의하여 합리적으로 나타낼 수 있다(Whittaker *et al*.,1974; Whittaker and Marks, 1975). 상대오차추정치가 0.2라는 것은 기대오차가 ±20%라는 것을 의미하며, 변량간에 밀접한 관계가 있을 때 0.2 이하, 비교적 낮은 관계일 때 0.5-1.0의 값을 보인다고 하였다. 본 조사에서 2개 유형의 상대생장식 모두 줄기, 지상부, 임목 전체 현존량 상대생장식의 상대오차추정치는 0.2 이하였으며, 가지와 잎 현존량 상대생장식의 상대오차추정치는 0.27-0.37로서 비교적 적합도가 높았다. 2개 유형 상대생장식의 상대오차추정치의 범위는 $Wt=aD^b$ 식이 0.11-0.30, $Wt=a(D^2H)^b$ 식이 0.10-0.37로서 큰 차이가 없었다. 이것은 흉고직경과 수고를 독립변수로 하는 $Wt=a(D^2H)^b$ 식의 경우 현존량 추정을 위한 매목조사시 발생하는 수고 측정 오차를 고려할 때 흉고직경만을 독립변수로 하는 $Wt=aD^b$ 식이 보다 효율적임을 시사한다.

흉고직경을 독립변수로 하는 부위별 현존량 상대생장식과 매목조사 결과에 의하여 추정한 임분 현존량은 Table 5와 같다. 임분 1, 2, 3의 뿌리를 포함한 임목 전체 현존량은 각각 61.62t/ha, 113.12t/ha, 248.36t/ha이었다. 지상부 현존량은 29년생인 임분 2는 89.92t/ha로서 경기도지방 32년생 굴참나무림 87.03t/ha(Park *et al*., 1996)와 비슷하였으며, 45년생인 임분 3은 194.07t/ha로서 36년생 금강형 소나무림 198.82t/ha(Lee and Park, 1986)와 비슷한 수준이었다.

이상을 종합하면, 임업통계상의 임목축적 즉, 줄기재적을 이용하여 곰솔림의 현존량을 추정할 경우 전환계수인 줄기밀도와 현존량 확장계수는 20년생 이하인 유령림과 21년생 이상인 성숙림으로 구분하여 달리 적용함으로써 정확도를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 흉고직경 등의 매목조사 자료를 이용하여 곰솔림의 현존량을 추정하기 위한 상대생장식은 매목조사시 발생하는 수고 측정 오차를 고려할 때 흉고직경만을 독립변수로 하는 상대생장식이 흉고직경과 수고를 독립변수로 하는 상대생장식보다 효율적인 것으로 나타났다. 이 연구의 결과는 산림의 현존량 추정에 대한 기초적인 정보로 활용될 수 있으며, 전국 규모의 곰솔 현존량 추정을 위해서는 조사지역과 표본목 수를 확대한 연구가 이루어질 필요가 있다.

## REFERENCES

Art, H.W. and P.L. Marks(1971) A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the

Table 5. Biomass(t/ha) of the *Pinus thunbergii* stands

| | Stem wood | Stem bark | Stem | Branches | Foliage | Above-ground total | Roots | Tree total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stand 1 | 23.39 | 5.84 | 29.23 | 11.57 | 9.91 | 50.72 | 10.90 | 61.62 |
| Stand 2 | 53.38 | 8.57 | 61.95 | 17.50 | 10.48 | 89.92 | 23.20 | 113.12 |
| Stand 3 | 131.02 | 15.53 | 146.55 | 32.38 | 15.13 | 194.07 | 54.29 | 248.36 |

world. pp. 3-32. In: H.E. Young, ed. Forest Biomass Studies. Orono, Maine.

Forestry Experiment Station(1982) Handbook of the Wood Industry. Maruzen, Tokyo, 1099pp.

Fukuda, M., T. Iehara and M. Matsumoto(2003) Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. Forest Ecology and Management 184: 1-16.

Harris, W.F., R.A. Goldstein and G.S. Henderson(1973) Analysis of forest biomass pools, annual primary production and turnover of biomass for a mixed deciduous forest watershed. pp. 41-64. In : H.E. Young, ed. IUFRO Biomass Studies. Orono, Maine.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. IGES, Kanagawa, Japan, 576pp.

Johnson, W.C. and D.M. Sharpe(1983) The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. Canadian Journal of Forest Research 13: 372-383.

Kang, M.S., K.S. Jang, Y.M. Son, R.H. Kim, I.H. Park and K.H. Lee(2016) Allometric equations and biomass expansion of yellow poplar(*Liriodendron tulipifera*) in southern Korea. Jour. Korean For. Soc. 105(4): 463-471. (in Korean with English abstract)

Kauppi, P.E., K. Mielikeinen and K. Kuusela(1992) Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science 256: 70-74.

Kim, C.S., J.Y. Jeong, R.H. Kim, Y.M. Son, K.H. Lee, J.S. Kim and I.H. Park(2011) Allometric equations and biomass expansion factors of Japanese red pine on the local level. Landscape Ecol. Eng. 7: 283-289.

Korea Forest Research Institute(2010) Study on the basis of forest carbon accounting in Korea. Korea Forest Research Institute Res. Rep. 436pp. (in Korean)

Korea Forest Service(2017) Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service Rep. 438pp. (in Korean)

Lee, S.W. and K.H. Park(1986) Biomass and organic energy production in pine and oak natural forest ecosystem in Korea. J. Kor. For. En. 6(1): 46-58. (in Korean with English abstract)

Park, I.H., D.K. Lee, K.J. Lee and G.S. Moon(1996) Growth biomass and net production of *Quercus* species(Ⅰ)-With reference to natural stands of *Quercus variabilis*, *Q. acutissima*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* in Kwangju, Kyonggi-Do-. Jour. Korean For. Soc. 85(1): 76-83. (in Korean with English abstract)

Park, I.H., M.S. Park, K.H. Lee, Y.M. Son, J.H. Seo, Y. Son and Y.J. Lee(2005) Biomass Expansion Factors for *Pinus densiflora* in Relation to Ecotype and Stand Age. Jour. Korean For. Soc. 94(6): 441-445. (in Korean with English abstract)

SAS(1988) SAS/STAT User's Guide: Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary. 1028pp.

Satoo, T. and H.A.I. Madgwick(1982) Forest biomass. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher, The Hague, 152pp.

Whittaker, R.H., F.H. Bormann, G.E. Likens and T.G. Siccama(1974) The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. Ecol. Monogr. 44: 233-252.

Whittaker, R.H. and P.L. Marks(1975) Methods of assessing terrestrial productivity. pp. 55-118. In: H. Lieth and R. H. Whittaker, ed. Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, New York.

Yim, K.B.(1991) The Practice of silviculture. Hyangmoonsa, Seoul, 347pp. (in Korean)