

## 편백림의 Biomass 추정에 관한 연구

# Estimation of Biomass in *Chamaecyparis Obtusa* Stands

김권수<sup>1</sup> · 박인협<sup>2</sup> · 채경석<sup>3</sup> · 김문섭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립수목원, <sup>2</sup>순천대학교 산림자원학과, <sup>3</sup>순천대학교 대학원 산림자원학과

### 서론

기후변화협약에 따라 각 나라들은 자국의 탄소발생 현황 파악과 감축 부분의 정량화 자료들을 의무적으로 제시하여야 하며 그 방식에 있어서는 국제 수준에 입각한 정확성이 요구된다.

임분 biomass는 대상 수종의 임분 내에서 직경급에 따라 적정 수의 표본목을 선정, 벌목, 굴취하고 건중량을 측정하여 흉고직경 또는 흉고직경과 수고 등을 독립변수로 하고 건중량을 종속변수로 하는 상대성장식을 유도한 후 매목조사를 통하여 측정한 흉고직경 또는 흉고직경과 수고를 대입함으로써 추정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 상대성장식은 동일 수종일지라도 입지, 임목밀도 등에 따라 달라질 수 있다는 보고(Whittaker and Marks, 1975; Koerper and Richardson, 1980)와 매목조사가 필요한 점을 고려할 때, 전국적인 규모의 biomass 추정의 경우 상대성장식에 의한 방법은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 온실가스 통계 구축을 위한 전국 규모의 산림 biomass 추정 방법으로 국가별 임목축적 측, 줄기재적을 이용하는 방법을 권장하고 있다(IPCC, 2003). 이에 따르면, biomass는 줄기재적 X 줄기밀도 X biomass 확장계수에 의하여 산출할 수 있으며, 줄기밀도와 biomass 확장계수를 구명하는 것이 산림탄소 정량화작업의 선행과제이다.

본 연구는 이러한 관점에서 우리나라의 대표적인 남부지역 조림 수종인 편백(*Chamaecyparis obtusa*)을 대상으로 임목 각 부위의 biomass 구조를 파악하고 줄기밀도와 biomass 확장계수를 구명하며 biomass 추정식을 유도함으로써 편백림의 탄소 축적량 파악에 필요한 정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

### 재료 및 방법

#### 1. 조사지 개황

순천시 송광 임분과 보성군 웅치 임분은 조사 당년 봄에 간벌이 실시 되었으며, 장흥군 장흥과 남해군 삼동은 최근 5년간 시업이력이 없었다. 순천시 외서와 마산시 진북은 사유림으로써 외서 임분은 간벌이 없었으며 진북 임분은 5년 전에 간벌이 시행되었다.

#### 2. 표본목 및 시료측정

임분별 20m×20m 조사구를 설치하여 조사구내 모든 개체목의 흉고직경을 측정한 후 흉고직경급이 고르게 분포하도록 임분별 5주씩 총 30주의 표본목을 선정하였다.

임분별 5주의 표본목은 모두 벌목하였으며, 그 중 2주는 뿌리까지 굴취하였다. 모든 표본목은 지상부로부터 0.2m부위에서 벌목하고 벌목된 표본목은 줄기로부터 가지와 잎을

Table 1. General description of the studied stands

Stand	Coordinates	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect	Soil depth (cm)
Oeseo, Suncheon-si	N 34°55'39.3" E127°16'42.0"	190	5	N	37
Songgwang, Suncheon-si	N 34°57'10.3" E127°17'55.6"	440	5	SW	39
Ungchi, Boseong-gun	N 34°41'12.3" E127°01'21.4"	420	10	NE	27
Jinbuk, Masan-si	N 35°09'34.0" E128°26'19.8"	333	12	SE	47
Jangheung, Jangheung-gun	N 34°41'18.5" E126°57'02.2"	275	13	W	50
Samdong, Namhae-gun	N 34°45'22.4" E128°01'33.9"	250	20	SW	32

분리하여 각 부위별 생중량을 측정하였다. 뿌리굴취 표본목은 흙을 잘 털어주어 뿌리만의 생중량을 측정할 수 있도록 하였으며 가지, 잎, 뿌리는 각각 약 1kg 정도의 시료를 채취하고 생중량을 기록하였다. 한편, 지상부 0.2m 벌목단면에서는 연륜수, 수피내직경, 수피외직경, 5년전 수피내직경을 측정하였다. 줄기는 근원부로부터 최초 1.2m에서 약 5cm 정도의 원판을 채취, 그 후 2m 간격으로 원판을 채취하여 최후 원판 채취 후 나머지 길이가 3m 이하일 경우에는 최후 원판채취 부위에서 1m 뒤의 원판을 최종 채취하였다. 채취한 원판들은 생중량을 측정하고 실험실로 운반하여 각 원판들의 수피내직경, 수피외직경 그리고 5년전 수피내직경을 측정 후 가지, 잎, 뿌리 시료들과 건조기에서 85°C로 향량이 될 때까지 건조시켜 건중량을 측정 후 부위별 건중량대 생중량 비를 산정하였다.

### 3. 표본목의 부위별 건중량

각 표본목의 벌목부를 제외한 모든 부위의 건중량에 있어서는 각 부위의 생중량과 원판 또는 시료의 건중량대 생중량 비에 의하여 산출하였으며, 0.2m 벌목부위의 줄기 목질부와 수피의 건중량은 해당 부위의 재적과 각 부위의 건중량대 통나무재적 비를 이용하여 환산하였다. 산출된 건중량 구성비는 분산분석 후 Duncan의 다중검정을 하였다.

### 4. 줄기밀도와 Biomass 확장계수

줄기밀도는 건중량대 수피외재적으로, biomass 전환계수는 부위별 건중량대 줄기건중량 비로 산출하였으며, biomass 확장계수는 지상부건중량 또는 뿌리건중량을 포함한 총 건중량대 줄기건중량 비로서 구하였다. 산출된 줄기밀도와 확장계수는 분산분석 후 Duncan의 다중검정을 하였다.

### 5. 임분 Biomass 추정 및 추정식

임분 biomass는 표본목의 biomass에 임분 흉고단면적대 표본목 흉고단면적의 비를 곱하여 추정하는 흉고단면적법 (Whittaker and Marks, 1975)을 적용하였으며, 추정식은 흉고직경(D) 또는 흉고직경과 수고(D2H)를 독립변수로 하고 부위별 건중량을 종속변수로 하는 상대성장식( $y=ax^b$ )으로

유도하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. Biomass 구조

임분별 표본목의 성장특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Growth characteristics of studied stands

Stand	Age (yr)	Height (m)	DBH (cm)	Density (trees/ha)	Basal area (m <sup>2</sup> /ha)
Oeseo, Suncheon-si	18	6.3	8.0	5,200	47.60
	16-19	5.1-7.0	6.0-10.0		
Songgwang, Suncheon-si	26	11.7	13.2	1,525	21.50
	25-27	10.6-12.6	11.0-15.3		
Ungchi, Boseong-gun	35	15.5	18.1	675	19.61
	33-36	14.1-16.0	16.2-20.2		
Jinbuk, Masan-si	35	17.0	23.1	1,400	46.11
	34-36	16.0-17.8	21.0-25.0		
Jangheung, Jangheung-gun	42	17.8	27.4	1,200	59.07
	42-43	17.2-19.0	25.5-29.6		
Samdong, Namhae-gun	88	15.3	32.1	575	28.65
	86-89	14.3-16.0	30.0-35		

임분별 표본목의 부위별 평균 건중량은 Table 3과 같다.

Table 3. Dry weight for the sample trees of *Chamaecyparis obtusa*

Stand	Mean dry weight(g)							Tree total
	Stem		Branch	Leaf	Root	Above-ground	Tree total	
	Wood	Bark						
Oeseo (18yr)	6,151	976	7,127	3,321	3,202	3,302	13,650	16,952
Songgwang (26yr)	29,796	4,200	33,996	6,429	6,073	12,018	46,498	58,516
Ungchi (35yr)	76,690	7,449	84,139	12,094	10,515	55,526	106,748	162,274
Jinbuk (35yr)	127,225	11,505	138,730	24,053	14,976	50,690	177,759	228,449
Jangheung (42yr)	191,288	19,503	210,791	53,190	21,824	90,403	285,805	376,208
Samdong (88yr)	210,346	22,726	233,072	62,892	35,353	104,121	331,317	435,438

임분별 표본목의 부위별 건중량 구성비와 뿌리대 지상부 비율의 평균값과 다중검정 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Above ground dry weight distribution and root/shoot ratio and Duncan's multiple test for the sample trees

Stand	Aboveground dry weight distribution ratio					Root/shoot ratio
	Stem Wood	Stem Bark	Stem	Branch	Leaf	
Oeseo (18yr)	0.460 (0.025)a	0.072 (0.002)a	0.532 (0.026)a	0.232 (0.020)c	0.236 (0.012)d	0.245 (0.029)a
Songgwang (26yr)	0.650 (0.022)b	0.091 (0.002)b	0.741 (0.024)bc	0.130 (0.015)a	0.128 (0.012)c	0.238 (0.028)a
Ungchi (35yr)	0.719 (0.004)c	0.069 (0.003)a	0.788 (0.002)c	0.112 (0.004)a	0.099 (0.003)ab	0.474 (0.033)b
Jinbuk (35yr)	0.719 (0.019)c	0.065 (0.002)a	0.784 (0.019)c	0.132 (0.016)a	0.084 (0.005)ab	0.278 (0.028)a
Jangheung (42yr)	0.671 (0.015)bc	0.068 (0.004)a	0.739 (0.018)bc	0.183 (0.020)b	0.078 (0.008)a	0.334 (0.001)a
Samdong (88yr)	0.636 (0.022)b	0.069 (0.003)a	0.705 (0.020)b	0.189 (0.013)bc	0.106 (0.010)bc	0.307 (0.038)a

\* Means, with one standard error in parentheses.

Means with different letters within columns are statistically different at  $p<0.05$ .

## 2. 줄기밀도와 Biomass 확장계수

임분별 표본목의 줄기밀도와 biomass 확장계수 평균값 그리고 다중검정 결과는 Table 5와 같다.

줄기밀도는 임분간 유의적인 차이가 없는 반면 확장계수는 지역과 임령에 따라 달라질 수 있으므로 지역별, 임령별 확장계수가 요구되나, 유령 임분인 외서지역을 제외한 5개 임분은 줄기 밀도와 전체 biomass 확장계수에 있어 유의적인 차이를 보이지 않았으므로 III영급 이상 즉, 21년 이상의 임령에 대하여는 전체 평균치를 일괄 적용하는 것이 적합하다고 판단된다.

전체 biomass를 각 부위별 biomass로 할당하는데 활용하는 biomass 전환계수의 임분별 평균값과 다중검정 결과는 Table 6과 같다.

Table 5. Stem density and biomass expansion factors and Duncan's multiple range test for the sample trees

Stand	Stem density (g/cm <sup>3</sup> )	Biomass expansion factor	
		Above ground total	Tree total
Oeseo (18yr)	0.413 (0.009)a	1.898 (0.087)c	2.576 (0.093)b
Songgwang (26yr)	0.424 (0.012)a	1.354 (0.042)ab	1.707 (0.135)a
Ungchi (35yr)	0.398 (0.004)a	1.269 (0.003)a	1.866 (0.054)a
Jinbuk (35yr)	0.394 (0.004)a	1.279 (0.031)ab	1.617 (0.039)a
Jangheung (42yr)	0.423 (0.008)a	1.356 (0.033)ab	1.719 (0.022)a
Samdong (88yr)	0.423 (0.014)a	1.423 (0.040)b	1.802 (0.102)a

\* Means, with one standard error in parentheses.

Means with different letters within columns are statistically different at  $p<0.05$ .

Table 6. Biomass conversion factors and Duncan's multiple range test for the sample trees

Stand	Biomass conversion factor				
	Stem Wood	Stem Bark	Branch	Leaf	Root
Oeseo (18yr)	0.864 (0.004)a	0.136 (0.004)d	0.447 (0.054)d	0.451 (0.041)c	0.508 (0.067)ab
Songgwang (26yr)	0.877 (0.003)b	0.123 (0.003)c	0.178 (0.025)abc	0.176 (0.021)b	0.330 (0.057)a
Ungchi (35yr)	0.912 (0.003)cd	0.088 (0.003)ab	0.143 (0.005)a	0.126 (0.004)ab	0.601 (0.046)b
Jinbuk (35yr)	0.917 (0.003)d	0.083 (0.003)a	0.171 (0.024)ab	0.108 (0.008)a	0.352 (0.019)a
Jangheung (42yr)	0.908 (0.005)cd	0.092 (0.005)ab	0.251 (0.033)bc	0.105 (0.007)a	0.431 (0.005)ab
Samdong (88yr)	0.902 (0.006)c	0.098 (0.006)b	0.271 (0.027)c	0.152 (0.015)ab	0.425 (0.063)ab

\* Means, with one standard error in parentheses.

Means with different letters within columns are statistically different at  $p<0.05$ .

## 3. 임분 Biomass 추정

각 조사지의 임분 biomass를 추정된 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Biomass(kg/ha) of *Chamaecyparis obtusa* stands

Stand	Biomass(kg/ha)							
	Stem			Branch	Leaf	Root	Above-ground	Tree total
	Wood	Bark	Stem					
Oeseo (18yr)	56,511	8,964	65,475	30,507	29,417	30,668	125,400	156,068
Songgwang (26yr)	46,307	6,527	52,834	9,992	9,438	17,413	72,264	89,677
Ungchi (35yr)	57,966	5,631	63,596	9,141	7,948	42,173	80,685	122,858
Jinbuk (35yr)	139,810	12,643	152,453	26,432	16,458	52,853	195,343	248,196
Jangheung (42yr)	190,977	19,471	210,449	53,104	21,789	90,892	285,341	376,233
Samdong (88yr)	74,475	8,047	82,522	22,268	12,517	36,523	117,307	153,830

#### 4. Biomass 추정식

1. 흉고직경(D)을 독립변수로 하고 부위별 건중량을 종속변수로 하여 유도된 상대성장식은 다음과 같다.

- Stem wood :  $y = 0.034x^{2.5891}$  ( $R^2 = 0.974$ )
- Stem bark :  $y = 0.0098x^{2.2681}$  ( $R^2 = 0.977$ )
- Stem :  $y = 0.042x^{2.5539}$  ( $R^2 = 0.976$ )
- Branches :  $y = 0.0179x^{2.3256}$  ( $R^2 = 0.923$ )
- Leaves :  $y = 0.0733x^{1.728}$  ( $R^2 = 0.942$ )
- Aboveground total :  $y = 0.0993x^{2.3769}$  ( $R^2 = 0.989$ )
- Roots :  $y = 0.0179x^{2.557}$  ( $R^2 = 0.936$ )
- Tree total :  $y = 0.1227x^{2.3995}$  ( $R^2 = 0.980$ )

{y=dry weight in kg, x=D (D=diameter at breast height in cm)}

2. 흉고직경과 수고(D<sup>2</sup>H)를 독립변수로 하고 부위별 건중량을 종속변수로 하여 유도된 상대성장식은 다음과 같다.

- Stem wood :  $y = 0.0178x^{0.9741}$  ( $R^2 = 0.996$ )
- Stem bark :  $y = 0.0059x^{0.8466}$  ( $R^2 = 0.983$ )
- Stem :  $y = 0.0223x^{0.9601}$  ( $R^2 = 0.996$ )
- Branches :  $y = 0.0133x^{0.8408}$  ( $R^2 = 0.871$ )

- Leaves :  $y = 0.0587x^{0.6251}$  ( $R^2 = 0.890$ )
- Aboveground total :  $y = 0.0597x^{0.884}$  ( $R^2 = 0.988$ )
- Roots :  $y = 0.0142x^{0.9173}$  ( $R^2 = 0.954$ )
- Tree total :  $y = 0.1032x^{0.8551}$  ( $R^2 = 0.985$ )

{y=dry weight in kg, x=D<sup>2</sup>H (D=diameter at breast height in cm, H=height in m)}

### 결론

편백 biomass추정에 필요한 확장계수와 추정식을 구명하기 위하여 지역과 임령을 고려하여 선정한 6개 임분을 조사분석한 결과는 다음과 같다.

1. 줄기밀도는 임분간 유의적인 차이가 없었으며, 임목부위별 biomass 구성비는 임분간 유의적인 차이가 있었다.
2. 뿌리를 포함한 임목 전체 biomass 확장계수는 유령 임분인 외서 지역을 제외한 5개 임분간에는 유의적인 차이가 없었다. 이것은 20년생 이하인 II영급까지는 유령목의 성장형, 21년생 이상인 III영급 이후에는 성숙목의 성장형을 보이며, biomass 확장계수는 II영급 이하와 III영급 이상으로 구분하여 적용하는 것이 합리적임을 시사하고 있다.
3. 전체 표본목을 일괄하여 흉고직경(D), 흉고직경과 수고(D<sup>2</sup>H)를 독립변수로 하는 추정식을 유도한 결과 두 경우 모두 적합도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 실용성과 수고 측정오차를 고려하면, 흉고직경(D)만을 독립변수로 하는 추정식이 적합하다고 판단된다.

### 인용문헌

1. 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.
2. Koerper, G.J. and C.J. Richardson. 1980. Biomass and net annual primary production regression for *Populus grandidentata* on three sites in northern lower Michigan. Can. J. For. Res. 10:92-101.
3. IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES, Kanagawa, Japan.