

맹종죽 임분에 시비가 상대생장식 및 바이오매스에 미치는 영향

조창규¹ · 백경원¹ · 박성완¹ · 유병오² · 정수영² · 이광수² · 김춘식^{1*}

¹경남과학기술대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 남부산림자원연구소

Fertilization Effects on Allometric Equations and Biomass in a Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*) Stand

Chang-Gyu Jo¹, Gyeongwon Baek¹, Seong-Wan Park¹, Byung Oh Yoo²,
Su Young Jung², Kwang Soo Lee² and Choonsig Kim^{1*}

¹Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology,
Jinju 52725, Korea

²Southern Forest Resource Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

요약: 본 연구는 경상남도 진주시 남부산림자원연구소 가좌시험림 내 맹종죽 임분을 대상으로 죽순 생산을 위해 약 30년 동안 시비가 실시된 시비구와 인접한 무시비구의 바이오매스 추정을 위한 상대생장식과 바이오매스 생산량을 비교하기 위해 수행하였다. 총 20본(시비구 10본, 무시비구 10본)의 맹종죽을 벌채 한 후, 각 기관별 바이오매스(Y)를 종속변수로 하고 근원부 20 cm 직경(D₂₀), 흉고직경(DBH), 수고(H: culm height), 흉고직경과 수고(DBH²·H)를 독립변수(X)로 하는 모든 상대생장식의 유의성이 인정($P < 0.05$)되었으며, DBH를 이용한 시비구와 무시비구 상대생장식의 상대생장계수(b)는 유의적인 차이가 없었다. 상대생장식 중 흉고직경을 독립변수로 추정된 대나무 줄기, 가지, 잎의 바이오매스는 무시비구가 시비구에 비해 유의적으로 높았으며, 지상부 총 바이오매스의 경우 무시비구가 106.38 Mg ha⁻¹(임분 밀도 6,833본/ha)로, 시비구의 57.68 Mg ha⁻¹(임분 밀도 4,633본/ha)에 비해 약 2배 정도 높았다. 지상부 바이오매스 분포 비율은 시비구의 경우 줄기(79%) > 가지(14%) > 잎(7%), 무시비구 경우 줄기(81%) > 가지(13%) > 잎(6%) 순으로 시비 처리에 따른 바이오매스 분포 비율에 큰 차이는 없었다. 본 연구결과에 따르면 임분 밀도 차로 인하여 시비는 맹종죽 임분의 지상부 바이오매스 축적량에 미치는 영향은 크지 않았다.

Abstract: This study was carried out to determine fertilization effects on allometric equations and biomass production in a Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stand of the Gajwa National Experimental Forests, Jinju, Korea. The study site was fertilized for approximately 30 years to produce edible bamboo shoots. Total 20 bamboos (10 fertilized and 10 unfertilized) were cut to develop allometric equations and to estimate biomass accumulation of each bamboo component. Allometric equations of each bamboo component in the fertilized and unfertilized plots were significant ($P < 0.05$) with diameter at 20 cm from ground (D₂₀), diameter at breast height (DBH), culm height (H), and DBH²·H. Aboveground biomass estimated by the allometric equations (DBH) was significantly higher in the unfertilized plots (106.38 Mg ha⁻¹) in culm density of 6,833 culm ha⁻¹ than in the fertilized (57.68 Mg ha⁻¹) plots in culm density of 4,633 culm ha⁻¹. The proportion of each biomass component was culm (79%), followed by branches (14%) and leaf (7%) in the fertilized plots, whereas it was culm (81%), followed by branches (13%), and leaf (6%) in the unfertilized plots. The results indicate that aboveground biomass accumulation in a *Phyllostachys pubescens* stand was little affected by fertilizer application because of the difference of culm density.

Key words: allometric equations, bamboo, biomass, fertilization

* Corresponding author

E-mail: ckim@gntech.ac.kr

ORCID

Choonsig Kim  <http://orcid.org/0000-0002-3263-1187>

서론

대나무는 우리나라 남부권역에 분포하는 중요한 임산 자원으로 종이, 건축 및 가구재, 사면 안정재, 침식예방, 에너지 공급원 등 다양한 용도로 사용되며(Christanty et al., 1996), 급속한 생장 특성 때문에 탄소 격리에 효과적인 수단으로 가능성이 높아지고 있다(Christanty et al., 1996; Yen et al., 2010; Yen et al., 2010; Nath et al., 2015; Yen, 2016). 또한 생물재료로서 다양한 용도가 개발되고 있으며(Li et al., 2007), 생태계 서비스 증진원으로 잠재력과 함께 대나무 조림 면적의 증가와 이용적 측면에서 새로운 수요가 기대된다(Tripathi and Singh, 1996; Lee et al., 2014; Zhang et al., 2014; Yen et al., 2016).

우리나라에 자생하는 대나무류는 5속 19종이며, 약 70종의 대나무가 생육하는 것으로 알려져 있으나, 식용으로 죽순을 이용하는 맹종죽, 왕대, 솜대 등이 경제적인 측면에서 집약적으로 재배되고 있다(National Institute of Forest Science, 2016). 급속한 생장 특성을 보이는 대나무는 매년 죽순 채취나 상업적 이용을 위한 선택적 벌채 등의 교란이 매년 발생하고 있어, 대나무임분의 효율적 관리를 위해서는 바이오매스 자원의 정량적 평가가 요구된다(Lee et al., 2012; Yen et al., 2016). 이와 같은 중요성 때문에 국내에서도 대나무 바이오매스 추정 관련 다양한 연구가 수행된 바 있으며, 맹종죽 관련 연구로는 맹종죽, 왕대, 솜대 임분의 바이오매스 생산량 비교(Park and Ryu, 1996), 맹종죽 조림지의 지상부 및 지하부 바이오매스 추정(Hwang et al., 2005; Lee et al., 2012), 맹종죽 및

솜대 조림지의 현존량 비교(Lee et al., 2014) 등이 있다. 특히 맹종죽은 솜대나 왕대 등에 비해 왕성한 생육특성을 보이고, 죽순 생산량 증가 및 품질 향상을 위해 매년 시비가 실시되고 있으나(Kleinhenz and Midmore, 2002), 맹종죽 임분에 시비가 상대생장식 및 바이오매스 축적량에 미치는 영향에 대해서는 알려져 있지 않다.

본 연구는 30년 이상 매년 시비가 실시된 맹종죽 임분을 대상으로 시비가 바이오매스 추정을 위한 상대생장식 및 바이오매스 축적량에 미치는 영향을 조사하기 위한 목적으로 실시하였다. 대나무 임분의 바이오매스 추정에 있어서 상대생장 모델을 이용할 경우 전체 임분의 벌채를 통한 바이오매스 추정보다는 시간과 비용면에서 유리한 점이 있으며(Nath et al., 2009), 일반적으로 현장에서 쉽게 측정이 가능한 흉고직경을 독립변수로 하는 상대 생장 모델이 널리 사용되고 있다(Lee et al., 2014; Nath et al., 2015). 본 연구에서는 대나무 바이오매스 추정 상대생장 모델에 독립변수로 주로 이용하는 흉고직경(Park and Ryu, 1996; Lee et al., 2014; Yen, 2016)외에도, 대나무 벌근부인 지상부 20 cm 부위 직경이나 수고를 이용한 바이오매스 추정 상대생장 모델의 개발 가능성도 조사하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 일반현황

본 연구는 경상남도 진주시 국립산림과학원 남부산림차원연구소 가좌시험림에 위치한 맹종죽임분의 시비구와 무시비구를 대상으로 하였다(Figure 1). 이 지역은 1970년

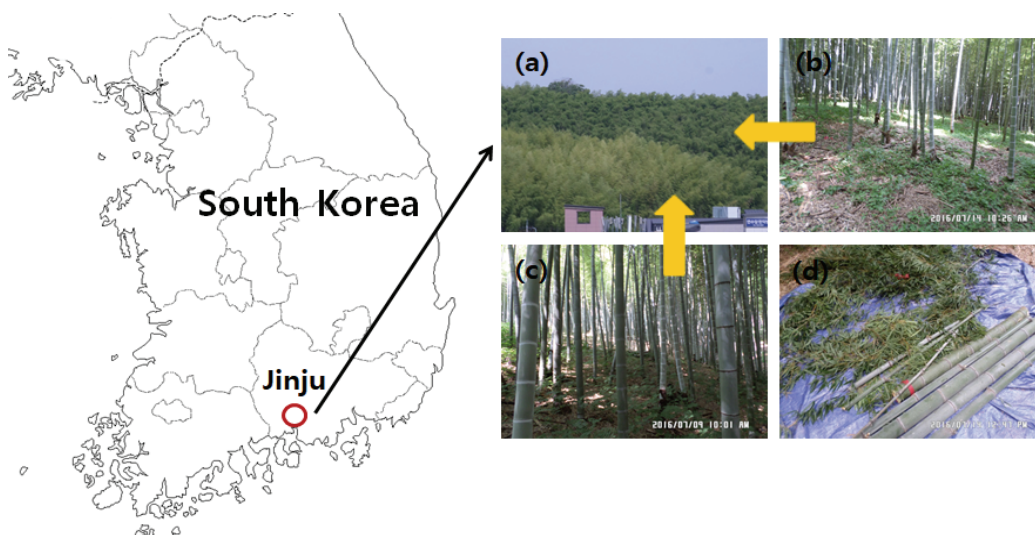


Figure 1. Location of the study sites (a) in a *Phyllostachys pubescens* stand {dark green leaves in fertilized plots (b); light green leaves in unfertilized plots (c), sampled bamboos (d)} in the Gajwa National Experimental Forest in Jinju, Korea.

Table 1. General characteristics of the study site in a *Phyllostachys pubescens* stand (n=3).

Plot	Location	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Soil type	Culm density (culm ha ⁻¹)			Mean DBH (cm)		
						Current -year -old	>1-year -old	Total	Current -year -old	> 1-year -old	All age
Fertilized	35°09'38.38"N 128°06'16.06"E	E	50	< 15	rB ₂	1,200 (0)	3,433 (384)	4,633 (384)	11.4 (0.4)	10.1 (0.3)	10.8 (0.4)
Unfertilized	35°09'35.96"N 128°06'16.17"E	N	67	15-20	rB ₂	1,333 (133)	5,500 (208)	6,833 (317)	11.2 (0.3)	10.1 (0.3)	10.7 (0.3)

* Values in parenthesis are standard error.

대 조성되었으며, 시비구의 경우 죽순생산을 위해 매년 6월 중순 복합비료(N-P-K: 21-17-17; 244 kg N ha⁻¹ yr⁻¹, 196 kg P ha⁻¹ yr⁻¹, 196 kg K ha⁻¹ yr⁻¹)를 시비하고 있다.

조사구 중 시비구는 동향의 산복에 위치하고 하층식생은 주름조개풀과 같은 초본류 외 목본이나 초본식생은 거의 출현하지 않았으며, 평균 경사 15~20°에 사암 및 혈암 등을 모재로 생성된 적색계 갈색약건산림토양형(rB₂)이 분포하였다(Table 1). 무시비구의 경우 시비구와 약 50 m 떨어져 있으며, 경사 15~20°의 북향에 위치하고 일부 지역의 경우 등나무가 우점하나 하층식생 발달은 빈약하였고 시비구와 동일한 적색계 갈색약건산림토양형(rB₂)이 분포하였다(Table 1).

2. 시료채취 및 분석

1) 상대생장식

맹종죽 임분에 대한 조사는 2016년 7월에 실시하였으며, 임분 밀도와 입지환경 특성을 고려하여 각 10×10 m 크기를 가지는 시비구 3개소와 무시비구 3개소(총 6개 조사구)를 선정하였다. 선정된 조사구는 흉고직경 6 cm 이상을 대상으로 매목조사를 실시하였으며, 조사구의 최대 흉고직경은 15 cm였다. 상대생장식 개발을 위해 벌도될 맹종죽은 최소 직경에서 최대직경 범위 내 2 cm 경급으로 구분한 후, 각 경급 내에 벌채될 맹종죽이 고르게 분포하도록 하고, 시비구에서 당년생 5본과 다년생 5본, 무시비구에서 당년생 5본과 다년생 5본 등 총 20본을 임의로 선정하였다. 바이오매스 추정 상대생장식 개발에 필요한 대나무 본수는 연구 목적, 시간, 경비 등에 따라 달라지겠지만, 국내에서 수행된 맹종죽의 경우 영급 별 6본(Lee et al., 2012)과, 왕대속 3종의 경우 죽종 별 20본을 이용하여 유의적인 상대생장식을 개발한 바(Park and Ryu, 1996) 있으며, 국외에서는 대만의 경우 맹종죽 임분을 대상으로 영급별 5본씩 총 25본을 이용하여 상대생장식을 제시한 바 있다(Yen and Lee, 2011).

선정된 대나무는 지상부 20 cm 높이를 기계 톱을 이용하여 벌채하였으며, 벌채된 대나무의 경우 지상부 1.2 m,

3.2 m, 5.2 m, 7.2 m의 간격으로 절단하고(Figure 1) 가지와 잎을 분리한 후 디지털 저울을 이용하여 줄기부위 생중량을 측정하였다. 가지 생중량은 줄기로부터 분리하여 측정하였고, 가지에 부착된 잎의 경우도 전체를 분리하여 측정하였다. 현지에서 생중량이 측정된 줄기, 가지, 잎 시료는 건중량 환산을 위해 지퍼 백에 1~2 kg씩 채취하여 밀봉하고, 실험실로 운반한 후 85°C 온풍 건조기에 넣고 48시간이상 향량에 도달할 때까지 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 각 부위별 건중량을 종속변수(Y)로 하고 지상부 20 cm부위 직경(D₂₀), 흉고직경(DBH), 수고(H: culm height), 흉고직경 및 수고(DBH²·H)를 독립변수(X)로 하여 상대생장식(log₁₀Y=a+blog₁₀X)을 개발하고 유의성을 검정하였으며(P < 0.05), 개발된 상대생장식을 이용하여 단위면적당 대나무 기관 별 건중량을 추정하였다.

각 조사구의 토양특성은 조사구 내 임의 3개 지점에서 400 cm³ 스테인레스 코어 토양 채취기를 이용하여 0~10 cm 깊이에 토양 시료를 채취하고, 일주일 이상 실험실에서 풍건한 후 2 mm체(US standard No. 10)로 토양 화학적 성질 분석용 시료를 조제하였다. 토양 탄소 및 질소 함량은 대용량 원소분석기(Vario Macro cube, Germany)를 이용하였고, 토양 인은 5 g의 건조토양을 NH₄F와 HCl로 추출한 용액(Kalra and Maynard, 1991)을 UV 분광기(Jenway 6505, UK)를 이용하여 분석하였다.

2) 통계 분석

각 처리구로부터 얻어진 자료중 대나무 기관별 바이오매스 추정을 위한 상대생장식은 SAS의 Proc Reg Procedure를 이용하였으며(SAS Institute Inc., 2003), 각 시비구와 무시비구 상대생장식은 SAS의 Proc GLM Procedure를 이용하여 시비 처리와 흉고직경 사이에 상호작용 효과에 의한 상대생장계수(b)의 유의성을 검정하였다(Milliken and Johnson, 2002). 또한 시비구와 무시비구의 토양 특성 및 바이오매스 축적량은 SAS의 t-test를 이용하여 P < 0.05 수준에서 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 임분 현황

맹종죽 임분의 ha당 밀도는 시비구 4,633본, 무시비구 6,833본으로 무시비구가 2,200본정도 많았으며, 평균 흉고직경의 경우 시비구 10.8 cm, 무시비구 10.7 cm로 유사하였다(Table 1). 시비가 평균 흉고직경의 크기에 미치는 영향이 크지 않은 것은 인을 제외한 토양특성의 차가 크지 않았고(Table 2), 시비구의 경우 매년 죽순 채취로 인한 양분손실이 크게 나타났기 때문에 사료된다. 맹종죽의 흉고직경은 6,500본 이상의 고밀도에서 임분 밀도 증가에 따라 흉고직경이 감소하는 것으로 알려져 있으나(Yen and Lee, 2011), 본 연구에서는 임분 밀도 차에 따른 평균 흉고직경 차이는 나타나지 않았다. 국내에서 조사된 맹종죽 임분의 평균 흉고직경은 담양 9.9 cm(Lee et al., 2012), 진주 8.3 cm(Hwang et al., 2005)로 본 조사구 값이 높게 나타났으며, 이는 조사구간 입지환경 차에 따른 공간적인 변이이거나, 본 연구에서 흉고직경 6 cm 이하를 측정하지 않았기 때문으로 사료된다.

2. 대나무 기관별 바이오매스

D_{20} , DBH, H, DBH^2H 와 대나무 기관별 건중량은 흉고직경이나 수고가 증가함에 따라 시비구와 무시비구 모두 증가하는 일반적인 경향을 보였으며(Figure 2), 타 연구에서도 맹종죽 바이오매스는 흉고직경이나 수고와 강한 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있다(Yen et al., 2011). 그러나 유사한 흉고 직경에서 시비구와 무시비구의 기관별 건중량 차이는 뚜렷하지 않았으며(Figure 2), 이는 무시비구의 경우 조성된 지 30년 이상으로 매년 유입되는 낙엽이나 세균 등의 분해과정동안 발생하는 양분의 공급이 충분하거나(Kleinhenz and Midmore, 2001), 시비구의 경우 매년 죽순 채취에 따른 양분 손실이 크게 나타나 시비 효과가 크지 않았기 때문으로 사료된다. 그러나 대나무 건중량의 경우 영급 간 차이가 뚜렷하여 줄기의 경우 다년생 줄기 건중량이 당년생 줄기 건중량 보다 높게 나

타났다(Figure 2). 이는 당년생의 경우 단기간 수고 생장에 영향을 미치는 초기생장 특성으로 인하여 비중이 낮게 나타나기 때문으로 알려져 있으며, 대나무는 성숙함에 따라 줄기 내 탄수화물 함량의 증가에 의해 건중량 및 비중이 증가하는 것으로 알려져 있다(Li et al., 2007). 줄기와는 대조적으로 가지나 잎의 경우 시비구와 무시비구 모두 당년생과 다년생의 차이가 뚜렷하지 않았다.

3. 상대생장식

시비구와 무시비구의 각 기관별 바이오매스(Y)는 4개(D_{20} , DBH, H, DBH^2H)의 독립변수(X)를 이용하여 줄기, 가지, 잎, 지상부 총량에 대한 유의적인($P < 0.05$) 상대생장식(Table 3) 개발이 가능하였다. 일반적으로 맹종죽의 경우 DBH나 DBH^2H 를 이용하여 상대생장 모델이 개발되고 있으며(Hwang et al., 2005; Yen and Lee, 2011; Lee et al., 2012), 본 연구에서는 D_{20} , 이나 수고도 바이오매스 추정을 위한 변수로 사용 가능한 것으로 나타났다. 그러나 상대생장식 중 D_{20} 을 이용한 잎 바이오매스 상대생장식의 결정계수(R^2)가 0.40으로 가장 낮았으며, 무시비구의 줄기 및 지상부 바이오매스 상대생장식의 결정계수는 0.85로 가장 높았다. 시비구, 무시비구 모두 기관별 상대생장식의 결정계수는 줄기가 가지나 잎에 비해 높게 나타났다. 이는 수관의 불규칙성 때문에 잎이나 가지의 결정계수가 줄기 부위에 비해 낮은 결정계수 값을 보이는 것으로 알려져 있다(Peichl and Arain, 2007; Fatemi et al., 2011).

시비구와 무시비구의 DBH를 이용한 상대생장식의 상대생장계수(b)는 줄기($P = 0.20$), 가지($P = 0.82$), 잎($P = 0.60$) 지상부 총량($P = 0.34$) 모두 상대생장계수에 유의성이 인정되지 않아, 맹종죽 바이오매스 추정에는 시비 처리에 관계없는 일괄 상대생장식(generalized allometric equations)의 적용(Table 4)도 가능한 것으로 나타났다. 일괄 상대생장식의 결정계수 값은 일반적으로 DBH가 D_{20} 보다는 높으나, DBH^2H 보다는 낮은 값을 보였다. 예를 들면 줄기, 가지, 잎, 지상부 총량의 결정계수는 DBH^2H

Table 2. Soil properties in fertilized and unfertilized plots in a *Phyllostachys pubescens* stand (n=3).

Plot	Bulk density (g cm ⁻³)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	EC (uS cm ⁻¹)	Carbon (%)	Total N (%)	P (mg kg ⁻¹)
Fertilized	0.90 (0.04)	53.3 (2.0)	36.7 (2.0)	10.0 (1.7)	4.59 (0.26)	290 (31)	2.48 (0.46)	0.23 (0.03)	174.5 (11.4)
Unfertilized	0.83 (0.11)	63.3 (3.8)	29.0 (2.0)	8.0 (2.0)	4.69 (0.12)	138 (26)	2.46 (0.37)	0.21 (0.02)	6.2 (1.4)
P-value	0.43	0.09	0.05	0.47	0.75	0.02	0.97	0.65	0.01

* Values in parenthesis are standard error.

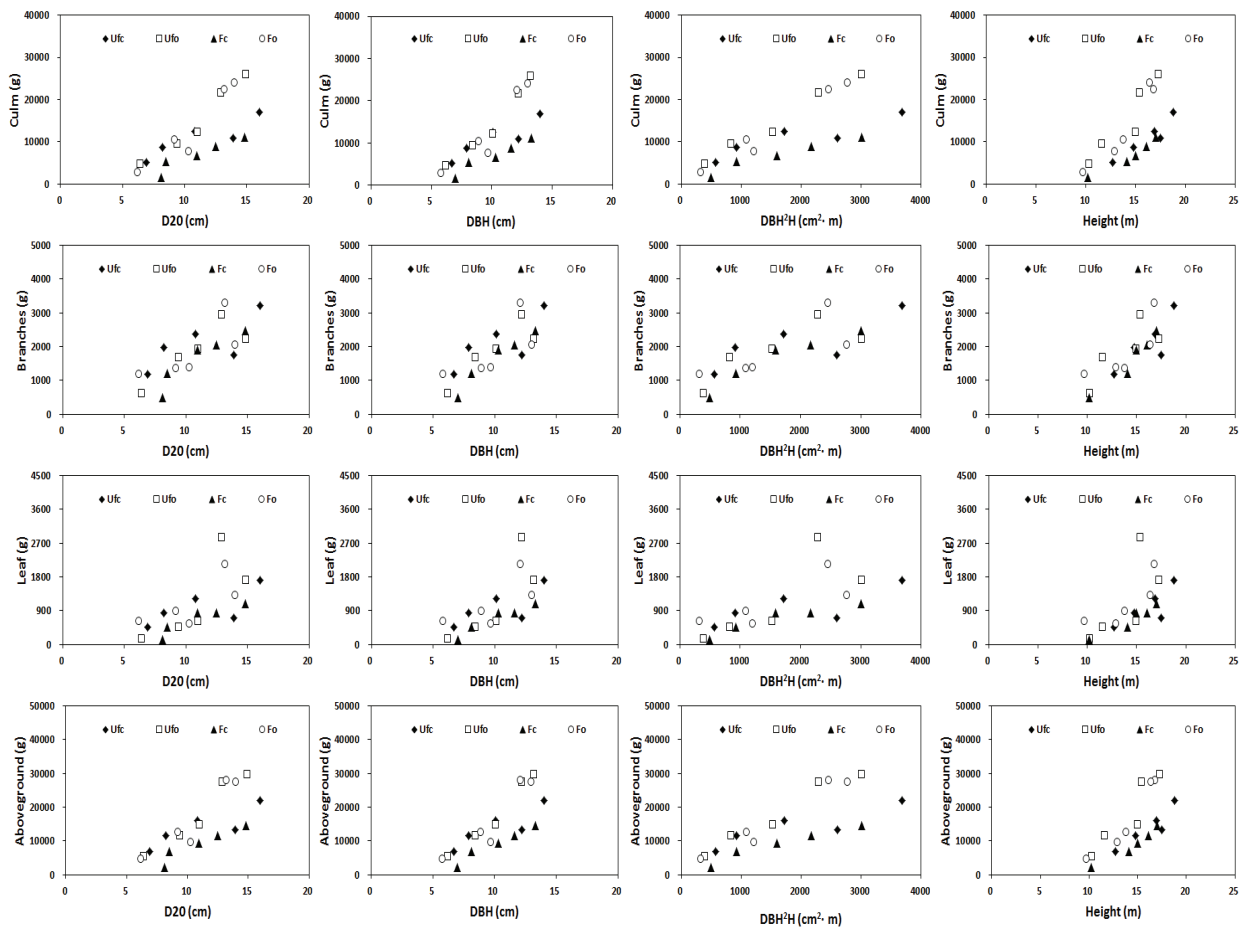


Figure 2. Scatter plot between dry weight of bamboo components and D_{20} , DBH, Height and DBH^2H in a *Phyllostachys pubescens* stand (Ufc: current-year-old in unfertilized plots; Ufo: > 1-year-old in unfertilized plots; Fc: current-year-old in fertilized plots; Fo: > 1-year-old in fertilized plots).

를 이용한 상대생장식이 DBH를 이용한 상대생장식에 비해 0.02~0.03정도 높으나(Table 4), 수고 변수를 첨가하더라도 그 값의 차가 크지 않아, DBH만을 이용한 상대생장식이 맹종죽 바이오매스 추정에 효과적임을 시사한다. 많은 연구들이 대나무 바이오매스 추정을 위한 상대생장 모델에 흉고직경(DBH)과 수고(H)를 독립변수로 이용하고 있으나(Hwang et al., 2005; Yen et al., 2010; Yen, 2016), 대나무 임분의 경우 임분 밀도가 높아 정확한 수고 측정이 어려운 문제점이 있는 것으로 알려져 있다(Zhang et al., 2014).

4. 바이오매스 분포

상대생장식의 결정계수 값을 고려하여 DBH를 독립변수로 하는 상대생장식을 이용한 줄기, 가지, 잎, 지상부 총량의 바이오매스는 무시비구가 시비구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 지상부 총 바이오매스는 무시비구 $106.38 \text{ Mg ha}^{-1}$, 시비구 57.68 Mg ha^{-1} 였고(Table 5), 지상

부 총 바이오매스를 임분 밀도비로 계산한 대나무 개체당 바이오매스의 경우도 무시비구 15.57 kg/본 , 시비구 12.45 kg/본 으로 무시비구가 높았다. 이와 같이 무시비구가 시비구에 비해 높은 바이오매스를 보인 것은 두 처리 간 2,200본 정도의 임분 밀도 차가 원인이며, 대나무 개체당 건중량의 차이는 무시비구의 경우 높은 다년생 밀도가 기여하는 것으로 사료된다(Table 1). 국내에서 조사된 맹종죽 바이오매스 경우 진주 지역 $3,050\text{본/ha}$ 의 임분 밀도에서 57.77 Mg ha^{-1} (Lee et al., 2012)과, 담양지역의 $6,400\text{본/ha}$ 임분 밀도에서 113 Mg ha^{-1} (Lee et al., 2014)와 비교할 때, 무시비구의 임분 밀도와 바이오매스의 경우 담양과 유사하였으며, 시비구의 임분 밀도와 바이오매스는 진주지역과 큰 차이가 없었다. 이는 맹종죽 임분의 바이오매스는 시비 보다는 대나무 이용을 위한 숲아베기나 죽순 채취 같은 산림작업이 바이오매스 축적량에 기여함을 시사한다. 그러나 시비구와 무시비구 사이 바이오매스 축적량에 상당한 차이에도 불구하고, 바

이오매스 분포비율은 시비구 줄기(79%) > 가지(14%) > 잎(7%), 무시비구 줄기(81%) > 가지(13%) > 잎(6%) 순으로 시비구와 무시비구 사이에 큰 차이는 없었다(Table 5). 대나무 바이오매스 분포 비율의 경우 대만에 분포하는

맹종죽 임분은 줄기 83~85%, 가지 12~17%, 잎 3~5% (Yen, 2016), 국내에서 조사된 담양지역 맹종죽 임분의 경우 줄기 81%, 가지 11%, 잎 8% (Lee et al., 2014)로 본 연구 결과와 차이는 없었다.

Table 3. Site-specific allometric equations ($\log_{10}Y=a+b\log_{10}X$) to estimate biomass in *Phyllostachys pubescens*.

Plot	Dependent variables (Y)	Independent variables (X)	Regression coefficient		R^2	P-value	CF
			a	b			
Unfertilized plots (n=10)	Culm (g)	D ₂₀ (cm)	2.451	1.562	0.81	<0.001	1.014
		DBH (cm)	2.288	1.782	0.85	<0.001	1.012
		Height (m)	1.520	2.163	0.58	0.010	1.032
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.957	0.665	0.81	<0.001	1.014
	Branch (g)	D ₂₀ (cm)	2.022	1.211	0.67	0.004	1.018
		DBH (cm)	1.886	1.391	0.70	0.002	1.016
		Height (m)	0.903	2.016	0.69	0.003	1.017
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.558	0.541	0.73	0.002	1.015
	Leaf (g)	D ₂₀ (cm)	0.806	2.056	0.62	0.007	1.066
		DBH (cm)	0.529	2.407	0.68	0.003	1.055
		Height (m)	-1.128	3.453	0.66	0.005	1.060
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	-0.034	0.935	0.71	0.002	1.051
	Above ground (g)	D ₂₀ (cm)	2.565	1.544	0.81	<0.0001	1.014
		DBH (cm)	2.398	1.767	0.85	<0.0001	1.012
		Height (m)	1.556	2.214	0.62	0.007	1.028
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	2.055	0.664	0.82	<0.0001	1.013
Fertilized plots (n=10)	Culm (g)	D ₂₀ (cm)	1.404	2.436	0.66	0.004	1.060
		DBH (cm)	1.328	2.595	0.73	0.002	1.046
		Height (m)	-0.259	3.619	0.76	0.001	1.042
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	0.843	0.976	0.76	0.001	1.042
	Branches (g)	D ₂₀ (cm)	1.752	1.415	0.56	0.013	1.030
		DBH (cm)	1.710	1.506	0.62	0.007	1.026
		Height (m)	0.673	2.201	0.71	0.002	1.020
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.406	0.574	0.66	0.004	1.023
	Leaf (g)	D ₂₀ (cm)	1.072	1.752	0.40	0.049	1.089
		DBH (cm)	0.964	1.920	0.48	0.027	1.078
		Height (m)	-0.429	2.869	0.57	0.012	1.064
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	0.562	0.736	0.51	0.020	1.073
	Above ground (g)	D ₂₀ (cm)	1.768	2.196	0.64	0.006	1.053
		DBH (cm)	1.694	2.344	0.71	0.002	1.042
		Height (m)	0.232	3.294	0.75	0.001	1.036
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.251	0.884	0.74	0.001	1.038

Y: Dry wight (g); D₂₀: Diameter of 20 cm from ground (cm), CF: Bias correction factors in the logarithmic transformation.

Table 4. Generalized allometric equations ($\log_{10}Y=a+b\log_{10}X$) to estimate biomass in *Phyllostachys pubescens*.

Plot	Dependent variables (Y)	Independent variables (X)	Regression coefficient		R^2	P-value	CF
			a	b			
Entire plots (n=20)	Culm (g)	D ₂₀ (cm)	1.974	1.952	0.63	<0.001	1.044
		DBH (cm)	1.810	2.185	0.69	<0.001	1.037
		Height (m)	0.499	2.996	0.67	<0.001	1.040
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.364	0.831	0.71	<0.001	1.034
	Branches (g)	D ₂₀ (cm)	1.896	1.305	0.59	<0.001	1.023
		DBH (cm)	1.795	1.451	0.65	<0.001	1.020
		Height (m)	0.767	2.126	0.71	<0.001	1.016
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.468	0.562	0.69	<0.001	1.018
	Leaf (g)	D ₂₀ (cm)	0.913	1.929	0.52	<0.001	1.070
		DBH (cm)	0.734	2.177	0.58	<0.001	1.061
		Height (m)	-0.741	3.131	0.61	<0.001	1.056
		DBH ² ×H (cm ² ·m)	0.255	0.839	0.61	<0.001	1.056
Above ground (g)	D ₂₀ (cm)	2.200	1.836	0.64	<0.001	1.038	
	DBH (cm)	2.046	2.055	0.70	<0.001	1.031	
	Height (m)	0.793	2.835	0.68	<0.001	1.033	
	DBH ² ×H (cm ² ·m)	1.623	0.783	0.73	<0.001	1.029	

Y: Dry weight (g); D₂₀: Diameter of 20 cm from ground (cm), CF: Bias correction factors in the logarithmic transformation.

Table 5. Aboveground biomass in fertilized and unfertilized plots of a *Phyllostachys pubescens* stand.

Plot	Aboveground biomass (Mg ha ⁻¹)			
	Culm	Branches	Leaf	Total
Fertilized	45.5 (5.25)	8.19 (0.82)	3.94 (0.42)	57.68 (6.49)
Unfertilized	86.18 (6.40)	13.57 (0.91)	6.63 (0.57)	106.38 (7.88)
P-value	0.01	0.01	0.02	0.01

* Values in parenthesis are standard error.

결론

맹종죽 임분의 시비구와 무시비구로부터 총 20본을 벌채하고 바이오매스 추정을 위한 상대성장식을 개발한 결과, D₂₀, DBH, Height, DBH²·H 모두 대나무 기관별 바이오매스 추정을 위한 독립변수로 이용이 가능하였다. 또한 시비구와 무시비구 상대성장식의 상대성장계수(b)에 유의적인 차이가 없어 시비처리에 관계없는 일괄 상대성장식을 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 지상부 20 cm 부위 직경을 독립변수로 한 상대성장식이 개발됨으로써 맹종죽 벌채지에도 벌근부를 이용한 바이오매스 추정이 가능할 것으로 사료된다. 본 연구에서 조사된 시비처리에 따른 맹종죽임분의 지상부 총 바이오매스는 무시비구 106.38 Mg ha⁻¹에 비해 시비구가 57.68 Mg ha⁻¹로

낮게 나타나, 맹종죽 임분의 경우 시비보다는 임분 밀도 차이가 바이오매스 축적량에 기여하였다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 남부산림자원연구소 2016년 위탁과제 연구보고서 “대나무 죽종별 양료순환 모델 개발”의 연구과제로 수행되었습니다.

References

- Christanty, L., Maily, D. and Kimmins, J.P. 1996. “Without bamboo, the land dies”: biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system.

- Forest Ecology and Management 87(1-3): 75-88.
- Fatemi, F.R., Yanai, R.D., Hamburg, S.P., Vadeboncoeur, M.A., Arthur, M.A., Briggs, R.D. and Levine, C.R. 2011. Allometric equations for young northern hardwoods: the importance of age-specific equations for estimating aboveground biomass. Canadian Journal of Forest Research 41(4): 881-891.
- Hwang, J.H., Chung, Y.G., Lee, S.T., Kim, B.B., Shin, H.C., Lee, K.J. and Park K.J. 2005. Estimation of aboveground biomass and belowground nutrient contents for a *Phyllostachys pubescens* stand. Journal of Korean Forest Society 94(3): 161-167.
- Kalra, Y.P. and Maynard, D.G. 1991. Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report. NOR-X-319E. pp. 116.
- Kleinhenz, V. and Midmore, D. 2001. Aspect of bamboo agronomy. Advances in Agronomy 74: 99-145.
- Lee, K.S., Jung, S.Y., Son, Y.M., Lee, K.H., Bae, E.J. and Yun, S.L. 2012. Biomass estimation of *Phyllostachys pubescens* stands in KFRI, southern forest research center. Journal of Korean Forest Society 101(1): 138-147.
- Lee, K.S., Jung, S.Y., Yoo, B.O., Park, J.H., Kim, C. and Ju, N.G. 2014. Biomass estimation for Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stands and Henon bamboo (*Phyllostachys nigra*) stands in southern Korea. Journal of Agriculture and Life Science 48(6): 109-118.
- Li, X.B., Shupe, T.F., Peter, G.F., Hse, C.Y. and Eberhardt, T.L.. 2007. Chemical changes with maturation of the bamboo species *Phyllostachys pubescens*. Journal of Tropical Science 19(1): 6-12.
- Milliken, G.A., and Johnson, D.E. 2002. Analysis of Messy Data. Volume III: Analysis of Covariance. Chapman and Hall/CRC, London. pp. 605.
- National Institute of Forest Science. 2016. Distribution Status of Bamboo Forest Resources in Korea, December 2016 (No.16-27), Seoul, Korea. pp. 17.
- Nath, A.J., Lal, R. and Das, A.K. 2015. Managing woody bamboos for carbon farming and carbon trading. Global Ecology and Conservation 3: 654-663.
- Park, I.H., and Ryu, S.B. 1996. Biomass, net production and nutrient distribution of bamboo *Phyllostachys* stands in Korea. Journal of Korean Forest Society 85(3): 453-461.
- Peichl, M. and Arain, M.A. 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. Forest Ecology and Management 253(1-3): 68-80.
- SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT Statistical Software. Version 9.1. SAS publishing Cary, NC. USA.
- Tripathi, S.K., and Singh, K.P. 1996. Culm recruitment, dry matter dynamics and carbon flux in recently harvested and mature bamboo savanna in the Indian dry tropic. Ecological Research 11(2): 149-164.
- Yen, T.-M., Ji, Y.-J. and Lee, J.-S. 2010. Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing Makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. Forest Ecology and Management 260: 339-344.
- Yen, T.-M. and Lee, J.-S. 2011. Comparing aboveground carbon sequestration between Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. Forest Ecology and Management 261: 995-1002.
- Yen, T.-M. 2016. Culm height development, biomass accumulation and carbon storage in an initial growth stage for fast-growing Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). Botanical Studies 57: 10.
- Zhang, H., Zhuang, S., Sun, B., Ji, H., Li, C., and Zhou, S. 2014. Estimation of biomass and carbon storage of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houz.) in southern China using a diameter-age bivariate distribution model. Forestry 87(5): 674-682.