

# 광양 및 제주 지역 신갈나무림의 바이오매스와 에너지량\*1

권기철\*2† · 이돈구\*3

## Biomass and Energy Content of *Quercus mongolica* Stands in Gwangyang and Jeju Areas\*1

Ki-Cheol Kwon\*2† · Don Koo Lee\*3

### 요 약

본 연구는 우리나라의 남부 지방인 전남 광양의 백운산 지역(해발 800 m)에서 자라는 60~70년생 신갈나무림과 제주 한라산 지역(해발 1,000 m)에서 자라는 60년생 신갈나무림의 바이오매스와 에너지 고정량을 추정하기 위해 각 지역별로 5~9 분씩 총 25 본의 표본목을 조사하였다. 광양 백운산 지역 북사면 신갈나무림의 바이오매스 현존량은 288.4 ton/ha, 남사면은 241.9 ton/ha이었으며, 제주 한라산 지역 북사면은 368.4 ton/ha, 남사면은 364.3 ton/ha로 나타났다. 또한 연간 순생산량은 백운산 지역 북사면 20.7 ton/ha/yr, 남사면 17.7 ton/ha/yr이었다. 한라산 지역 북사면은 19.0 ton/ha/yr, 남사면 21.2 ton/ha/yr로서 바이오매스 현존량과 연간 순생산량 모두 한라산 지역이 백운산 지역보다 더 높게 나타났다. 그러나 잎의 생산 효율인 순동화율(NAR)은 백운산 지역(4.1~5.1)이 한라산 지역(3.7~4.6)보다 더 높게 나타났다. 한편, 광양 백운산 지역에서 북사면 신갈나무림의 에너지 현존량은 5,666 GJ/ha, 남사면은 4,793 GJ/ha이었으며, 제주 한라산 지역에서 북사면은 6,550 GJ/ha, 남사면은 6,435 GJ/ha로 나타났다. 연간 에너지 고정량은 백운산 지역 북사면 365 GJ/ha/yr, 남사면 360 GJ/ha/yr, 한라산 지역 북사면 351 GJ/ha/yr, 남사면 347 GJ/ha/yr로서 백운산 지역이 한라산 지역보다 더 높은 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

This study was conducted to examine the biomass and energy content of 60- to 70-year-old *Quercus mongolica* stand facing northern and southern aspect in Mt. Baekwoon (800 m above sea level), Gwangyang, Jeollanam-do and in Mt. Halla (1,000 m above sea level), Jeju-do. The total biomass was 288.4

\* 1 접수 2006년 3월 3일, 채택 2006년 3월 23일

\* 2 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

\* 3 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 주저자(corresponding author) : 권기철(e-mail: kkch30@yahoo.co.kr)

ton/ha in northern aspect and 241.9 ton/ha in southern aspect of Mt. Baekwoon while 368.4 ton/ha in northern aspect and 364.3 ton/ha in southern aspect of Mt. Halla. Annual net production was 20.7 ton/ha/yr in northern aspect and 17.7 ton/ha/yr in southern aspect of Mt. Baekwoon while 19.0 ton/ha/yr in northern aspect and 21.2 ton/ha/yr in southern aspect of Mt. Halla. Total biomass and annual net production of Mt. Halla were greater than those of Mt. Baekwoon. The net assimilation rate (NAR) was 5.05 in northern aspect and 4.09 in southern aspect of Mt. Baekwoon, while 4.60 in northern aspect and 3.66 in southern aspect of Mt. Halla, Total energy content was 5,666 GJ/ha in northern aspect and 4,793 GJ/ha in southern aspect of Mt. Baekwoon while 6,550 GJ/ha in northern aspect and 6,435 GJ/ha in southern aspect of Mt. Halla. Annual energy content was 365 GJ/ha/yr in northern aspect and 360 GJ/ha/yr in southern aspect of Mt. Baekwoon while 351 GJ/ha/yr in northern aspect and 347 GJ/ha/yr in southern aspect of Mt. Halla. Annual energy content of Mt. Baekwoon was greater than that of Mt. Halla.

**Keywords:** *Quercus mongolica*, biomass, annual net production, net assimilation rate (NAR), energy content

## 1. 서 론

육상 생태계를 이루는 육지의 면적 약  $1.49 \times 10^8$  km<sup>2</sup>는 지구의 표면적  $5.10 \times 10^8$  km<sup>2</sup>의 29.2%에 해당하며, 1차 생산자인 녹색 식물의 대부분이 이곳에 살고 있다는 점을 고려하면 지구적 규모의 1차 생산량에 막대한 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다(김과 길, 2000). 이렇듯 막대한 육상 식물 군집의 물질 생산을 추정하기 위해 Boysen-Jensen(1932) 이래 많은 연구자들의 노력과 특히 1965년~1973년 사이에 60여 개국의 연구자들이 참여한 IBP (International Biological Programme)의 활동으로 연구 방법이 크게 발전했고, 지구적 규모의 1차 생산량을 추정할 수 있게 되었다(Kozak, 1970; 이 등, 1998).

산림에서 자라고 있는 나무와 풀은 모두 광합성 작용을 통해 태양 에너지를 화학 에너지로 변환시켜 식물체내 각 기관에 저장한다. 식물체내에 저장된 유기 에너지 중 대부분은 호흡 에너지로 소비되고, 남은 에너지는 줄기, 가지, 잎, 뿌리, 종자 등에 축적된다. 이렇게 고정된 에너지는 다른 생물들이 열원으로 이용하게 된다. 식물체에 축적된 에너지는 종에 따라 다른데, 보통 목본식물은 초본에 비해 다소 높은 에너지 축적을 보인다(吉良, 1976). 또한 온대와 한대지방의 목본식물이 약 4,700~5,100 cal/g인 것에 반해 열대

림이나 초본식물은 4,000 cal/g 이하이다(Kimmins, 1997).

심(1974)의 연구에 따르면, 지구상에 들어오는 태양에너지의 연간 총량은  $1.3 \times 10^{21}$  kcal에 달하고 있는데, 이 중 광합성에 의해 고정되는 에너지량은 연간  $2.6 \times 10^{17}$  kcal이다. 한편 이 등(1987)은 지구상에 있는 전체 바이오매스를 에너지로 환산하면  $7.2 \times 10^{18}$  kcal인데, 세계의 연간 식량 소비량을 총  $3.7 \times 10^{15}$  kcal로 추정하였을 때 결국 인류는 식물이 1년간 흡수한 에너지의 약 1.4%만 이용하는 것이라고 하였다.

신갈나무는 우리나라에서 가장 넓은 분포를 보이고 있는 대표적인 활엽수종으로서 특히 도시근교림과 농촌 산림과 같이 산불과 벌채로 파괴된 후 형성된 이차림에서 주요 우점수종으로 나타나 대부분의 지역에서 쉽게 발견된다. 이 등(1990)은 신갈나무를 비롯한 참나무류가 우리나라의 활엽수림대 전역에 걸쳐 가장 많이 분포하고 있고, 참나무류가 차지하고 있는 임목 축적량이 전체 산림의 27%를 차지하고 있으며, 이 비율은 계속 증가하는 추세라고 하였다. 그러나 아직까지 우리나라의 대표적인 활엽수종인 신갈나무의 바이오매스에 관한 연구는 몇몇 진행된 바 있으나, 생산 효율이나 에너지량에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 남부 지방인 전라남도 광양의 백운산과 제주도의 한라산에서 신갈나무림

의 바이오매스, 연간 순생산량 및 에너지량과 생산 효율을 알아보는데 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구 대상지

본 연구는 전남 광양 백운산 지역과 제주 한라산 지역을 대상으로 Table 1과 같이 지형과 사면 등을 고려하여 신갈나무림이 우점하고 있는 지역으로 선정하였다.

#### 2.1.1. 전남 광양 백운산 지역

백운산 지역에는 서울대학교 부속 남부학술림이 있으며, 행정구역상으로는 전남 광양시에 있고, 동경 127° 22'~127° 37', 북위 35° 10'~35° 21'에 위치하고 있다.

백운산이 위치한 광양 지역은 우리나라에서 가장

광량이 풍부한 곳으로 알려져 있으며(광양시, 2005), 1995년부터 2003년까지 지난 9년간 남부학술림에 있는 추산 지역의 기상 자료를 살펴보면 연평균 기온 14.4°C, 연평균 최고온도 20.4°C, 연평균 최저온도 8.2°C, 연평균 강수량이 1,574 mm로서 온난대성 기후를 보이고 있다.

조사지가 위치한 백운산 신갈나무림은 상층의 임령이 60~70년 정도 되고, 해발 800 m 부근의 능선 바로 아래쪽 사면 상부에 분포하고 있다. 방위는 북서사면과 남서사면으로 구분되며, 평균 경사도는 35° 이상의 급경사지이다. 흉고직경 4 cm 이상의 ha당 본수는 북사면 지역이 1,300~1,400 본, 남사면 지역이 1,500~1,600 본으로 남사면 지역의 임분 밀도가 더 높았다. 상층과 중층에서 신갈나무가 우점하고 있으며, 북사면 지역에서는 상층에 졸참나무, 중층에 당단풍나무 등, 남사면 지역에서는 상층에 서어나무와 굴참나무가 함께 자라고 있었다. 하층에는 능선 부근에서 철쭉이 많이 자라고 있으며, 거의 모든 지역의 하층을 조릿대가 우점하고 있었다.

Table 1. The characteristics of the study sites

Sites	Plot no.	Altitude (m)	Topo.*	Aspect (°)	Slope (°)	Mean age (yr.)	SV** (%)	No/ha	No. of sample trees***	Sub-major species****
Mt. Baekwoon (35°15'N, 127°35'E)	B-01	800	US	NW70	38	60	85.3	1,325	6	AP, SB
	B-02	780	US	NW75	38	60	86.5	1,375	-	AP, SO, SB
	B-03	770	MS	NW75	35	60	78.8	1,400	-	QS, CL, SB
	B-04	810	US	SW40	35	70	80.8	1,525	9	CL, RS
	B-05	790	US	SW40	35	70	87.5	1,575	-	RS, SB
	B-06	820	US	SW30	38	70	85.8	1,500	-	RS, SB
Mt. Halla (33°21'N, 126°31'E)	H-01	1,020	MS	NE20	10	60	77.4	2,450	-	QS, AP
	H-02	1,000	MS	NE10	10	60	89.5	2,033	5	QS, AH, SB
	H-03	980	MS	NW5	10	60	83.7	2,475	-	QS, AP, SB
	H-04	1,040	MS	SW10	10	60	88.3	2,850	-	UD, AP, SB
	H-05	1,010	MS	SW25	10	60	72.6	3,500	-	UD, SB
	H-06	1,000	MS	SE10	10	60	81.9	2,800	5	APM, SB

\* Topography : US; Upper slope, MS; Middle slope

\*\* SV : Synthetic value of *Quercus mongolica*, SV = (Relative density + Relative coverage) / 2

\*\*\* Sample trees collected for investigating biomass and energy content

\*\*\*\* Sub-major species : AH; *Abies holophylla*, AP; *Acer pseudosieboldianum*, APM; *Acer pictum* subsp. *mono*, CL *Carpinus laxiflora*, QS; *Quercus serrata*, RS; *Rhododendron schlippenbachii*, SB; *Sasa borealis*, SO; *Styrax obassia*, *Ulmus davidiana*

### 2.1.2. 제주 한라산 지역

한라산은 제주도의 중앙부에 위치하고 있으며, 그 정상부는 동경 126° 31' 53", 북위 33° 21' 29"에 있다. 정상부의 해발고도는 1,950 m로 남한의 최고봉이며, 이 정상부를 중심으로 동서 방향으로 약 14.4 km 남서방향으로 약 9.8 km에 달하는 지역이 천연 보호 구역으로 지정되었다.

한라산의 기후는 한라산 산정 부근에 기상대가 없기 때문에 고산 지역과 서귀포시의 기상 자료를 활용하였다. 지난 20년간의 기상 자료를 보면 연평균 기온 15.5°C(고산)~16.2°C(서귀포), 연평균 최고온도 18.2°C~19.8°C, 연평균 최저온도 13.1°C~13.0°C 가량이다. 연평균 강수량은 1,350 mm이고(고산 1094.7 mm, 서귀포 1850.8 mm), 해발고가 올라갈수록 강수량이 증가하고, 연중 강수량은 여름철에 집중되고 있다(제주지방기상청, 2005).

조사지가 위치한 한라산 신갈나무림은 상층의 임령이 60년 이상이고, 해발 1,000 m 부근의 사면 중부에 위치하고 있으며, 주위에 습지가 분포하고 있다. 방위는 거의 정북과 정남에 가까우며, 평균 경사도는 10° 안팎으로 완만한 경사를 보였다. 흉고직경 4 cm 이상의 ha당 본수는 북사면이 2,000~2,500 본, 남사면이 2,800~3,500 본으로 임분밀도가 매우 높은 것으로

나타났다. 상층과 중층에서는 신갈나무가 우점하고 있으며, 하층은 조릿대가 우점하고 있었다.

## 2.2. 임분 환경 조사

환경 조건으로는 조사구의 방위, 해발고, 평균 경사도, 지형, 토양 특성 등을 조사하였다. 토양 시료는 각 조사구마다 3 곳에서 A층 토양을 균등 채취하였다. 토성은 비중계법을 이용하였고, 토양 내 유기물 함량은 건조 직후의 토양을 600°C에서 6시간 동안 유기물을 태운 후 감소한 무게의 차이로 측정하였다. 토양 pH 측정은 토양 시료와 증류수, 토양 시료와 CaCl<sub>2</sub>를 각각 1:5의 비율로 섞어 pH meter (Bench top pH meter, HANNA Instrument Inc.)로 측정하였다. 전질소 함량은 Kjeldahl 방법, 치환성 양이온은 ICP를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 따르면, 백운산 조사지역의 토양은 사질 식양토와 사양토이며, 토양 pH가 4.5 이하로 산성 토양이며, 중왕산, 태화산, 월악산 등지의 신갈나무림(권, 2006)과 비교하였을 때 CEC가 높았다. 한라산 지역의 토양은 식토가 가장 많고 미사질식양토와 사질식토가 일부 나타나고 있다. 한라산 조사지역의 토

Table 2. Soil characteristics of the *Quercus mongolica* stands

Site	Soil moisture (%)	pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	pH (1:5 CaCl <sub>2</sub> )	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	CEC (cmol <sub>c</sub> /kg)	Soil texture (USDA)
B-01	37.46	4.25	3.97	10.2	0.4	21.4	sandy clay loam
B-02	38.49	4.51	4.14	16.6	0.2	10.5	sandy clay loam
B-03	36.74	4.25	3.84	12.7	0.7	26.2	sandy clay loam
B-04	38.14	3.97	3.58	11.1	0.5	23.3	sandy clay loam
B-05	33.48	4.40	3.80	12.8	0.2	18.7	sandy clay loam
B-06	29.32	4.40	3.93	12.1	0.1	15.5	sandy loam
H-01	46.56	4.16	3.89	22.1	1.1	31.5	silty clay
H-02	48.37	4.10	3.65	23.7	1.3	31.5	clay
H-03	48.77	4.28	3.92	24.9	1.3	39.7	clay
H-04	53.70	4.80	4.20	24.6	1.2	29.2	clay
H-05	53.31	4.38	4.11	20.6	1.0	26.0	silty clay loam
H-06	50.30	4.13	3.90	22.0	1.1	28.3	clay

양 pH는 대부분 지역이 4.5 이하로 상당히 낮은 편이며, 토양 수분 함량이 매우 높고, 양이온치환용량 (Cation exchange capacity; CEC)도 백운산 지역보다 더 높은 것으로 나타났다.

### 2.3. 임분 및 바이오매스 조사

신갈나무림의 바이오매스 추정을 위해 각 조사지별 로 20 m × 20 m 크기의 방형구를 3 곳씩 설치하여 흉고직경, 수고 등 매목조사를 실시하였다. 그리고 Table 3에 나타낸 바와 같이 흉고직경이 4 cm 이상인 임목을 흉고직경급별로 1 본씩 각 지역별로 5~9 본을 선정 후 수확하여 지상부에서 2 m 간격으로 줄기(수피, 목질부), 가지, 잎의 생중량을 측정하였다. 이때 각 표본목에서 줄기, 가지, 잎의 일부를 채취했으며, 건조기로 80°C 이상에서 항중량에 이를 때까지 건조시킨 후 건조량 지수를 산출하여 전체 건조량을

계산하였다. 또한 Table 4와 같이 백운산 지역에서 4 본, 한라산 지역에서 2 본의 신갈나무를 굴취하여 지하부(뿌리)의 바이오매스와 에너지량을 측정하였다.

바이오매스 현존량의 추정은  $D^2H$  ( $DBH(cm)^2 \times$  수고 (m))와  $Ws$  (줄기 건조),  $Wbk$  (수피 건조),  $Wb$  (가지 건조),  $Wl$  (잎 건조)과의 관계를 대수회귀식으로 유도한 상대생장식(Kittredge, 1944; Kira 등, 1967; Saucier, 1979; 임 등, 1981)에 의해 계산했다. 지하부 바이오매스는 본 조사를 포함하여 전국 각지에서 굴취한 신갈나무 뿌리의 추정식(권, 2006)을 이용하여 계산했다. 그리고 각 표본목당 흉고부위에서 변재부 2개, 심재부 2개씩 목편을 절삭하여 부피와 건조량을 측정하여 각 임분에서 변재부와 심재부의 바이오매스와 에너지량을 추정하였다.

연간 순생산량의 추정은 수간석해를 실시하여 1년간의 수고 및 흉고직경의 성장량을 조사한 후, 여기서 얻은 연간 흉고직경 성장량(D)과 연간 수고 성장량

Table 3. Mean DBH, height and age of sample trees

Mt.Baekwoon						Mt.Halla					
Northern aspect			Southern aspect			Northern aspect			Southern aspect		
DBH (cm)	Height (m)	Age	DBH (cm)	Height (m)	Age	DBH (cm)	Height (m)	Age	DBH (cm)	Height (m)	Age
7.1	6.90	33	6.3	5.50	32	6.3	6.80	34	6.2	6.50	30
13.0	11.20	58	6.5	6.70	53	11.0	9.28	36	9.5	8.43	35
15.2	15.00	37	6.6	5.80	44	16.5	12.70	58	12.0	9.30	34
17.0	11.30	58	8.8	6.80	49	19.0	13.50	62	15.1	12.10	50
24.2	12.50	65	9.5	7.80	66	25.0	15.10	64	24.7	13.20	61
29.8	13.90	66	11.4	7.70	35						
			17.6	10.40	76						
			19.0	12.90	72						
			26.0	12.10	74						

Table 4. DBH, height, aboveground biomass, and root biomass of *Q. mongolica* sample trees

Site	DBH (cm)	Height (m)	Aboveground total (g)	Root (g)		
Mt. Baekwoon	7.1	6.90	9,196	3,508		
	Northern aspect		15.2	15.00	90,483	26,283
	Southern aspect		7.4	6.70	11,032	4,307
		12.0	12.70	45,814	13,936	
Mt. Halla	Northern aspect		11.0	9.28	23,937	8,014
	Southern aspect		6.2	6.50	6,442	3,122

(H)을 상대생장식에 대입하여 전년과 당년의 현존량 차로 계산하였다. 지하부의 연간 순생산량은 지상부 현존량에 대한 지상부 연간 순생산량의 비율을 지하부 현존량에 곱하여 추정하였다.

## 2.4. 열 에너지량 측정

각 조사구에서 채취한 전체 신갈나무 표본목 각각에 대해서 부위별(수피, 변재부, 심재부, 잎, 뿌리)로 USA Oxygen Bomb Calorimeter (1241 PARR)를 이용하여 열에너지량을 2반복 측정하였다. 임분 열 에너지량의 추정은 바이오매스에서와 마찬가지로  $D^2H$ 와 각 부위 사이의 관계를 상대생장식으로 유도했다. 연간 에너지 고정량 추정은 총 35 본의 표본목을 수간석해하여 1년간의 수고 및 흉고직경의 성장량을 조사하고, 여기서 얻은 연간 흉고직경 성장량(D, cm)과 연간 수고 성장량(H, m)에서  $D^2H$ 를 열에너지량 추정식에 대입하여 전년과 당년의 에너지량 차이로 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 신갈나무림의 바이오매스

#### 3.1.1. 신갈나무림의 바이오매스 현존량

신갈나무림의 표본목 측정치로 유도한 지상부의 각 부위별 상대생장식을 Table 5에 정리하였다. 백운산 북사면 지역의 가지부와 잎 부위를 제외한 모든 측정치에서 수정결정계수가 0.90 이상의 높은 값을 보이고 있어서, 조사 지역의 임분에 적용하는데 적합한 것으로 나타났다.

수간부의 상대생장계수를 보면 대체적으로 1.07~1.13 사이에 분포하고 있어서 지역별로 상대생장계수에 큰 차이가 나타나지는 않았다. 이와 박(1986)이 경기도 광주 지역 22년생 신갈나무림에서 얻은 수간부의 상대생장계수는 0.97로서 본 연구에서 유도된 회귀식보다는 다소 낮게 나타났다.

가지부의 상대생장계수는 모든 지역에서 북사면이 남사면보다 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 이것

Table 5. Regression coefficients and  $R^2$  when aboveground biomass of *Q. mongolica* was regressed on  $D^2H$  ( $\log Y = A + B \log X$ ; Y, dry weight (g) of biomass; X,  $DBH$  (cm) $^2 \times$  height (m))

Parameter (Y)	A	B	$R^2$	Pr> t	A	B	$R^2$	Pr> t
	Mt.Baekwoon (Northern aspect)				Mt.Baekwoon (Southern aspect)			
Stem wood	0.823	1.134	0.99	< 0.001	1.101	1.071	0.98	< 0.001
Sapwood	1.026	1.005	0.99	< 0.001	1.321	0.928	0.96	< 0.001
Heartwood	-0.298	1.344	0.98	< 0.001	-0.099	1.318	0.99	< 0.001
Stem bark	0.715	0.944	0.97	< 0.001	0.889	0.907	0.97	< 0.001
Live branches	0.219	1.178	0.87	0.004	0.315	1.150	0.97	< 0.001
Leaves	0.234	0.888	0.86	0.004	0.139	0.933	0.94	< 0.001
	Mt.Halla (Northern aspect)				Mt.Halla (Southern aspect)			
Stem wood	0.923	1.117	0.98	< 0.001	0.928	1.109	0.98	< 0.001
Sapwood	1.228	0.938	0.91	0.007	1.352	0.879	0.92	0.006
Heartwood	-0.671	1.483	0.98	< 0.001	-0.685	1.501	0.98	< 0.001
Stem bark	0.250	1.702	0.97	0.001	0.181	1.082	0.98	< 0.001
Live branches	-0.204	1.275	0.99	< 0.001	-0.214	1.275	0.98	< 0.001
Leaves	0.909	0.667	0.97	0.001	0.872	0.700	0.93	0.004

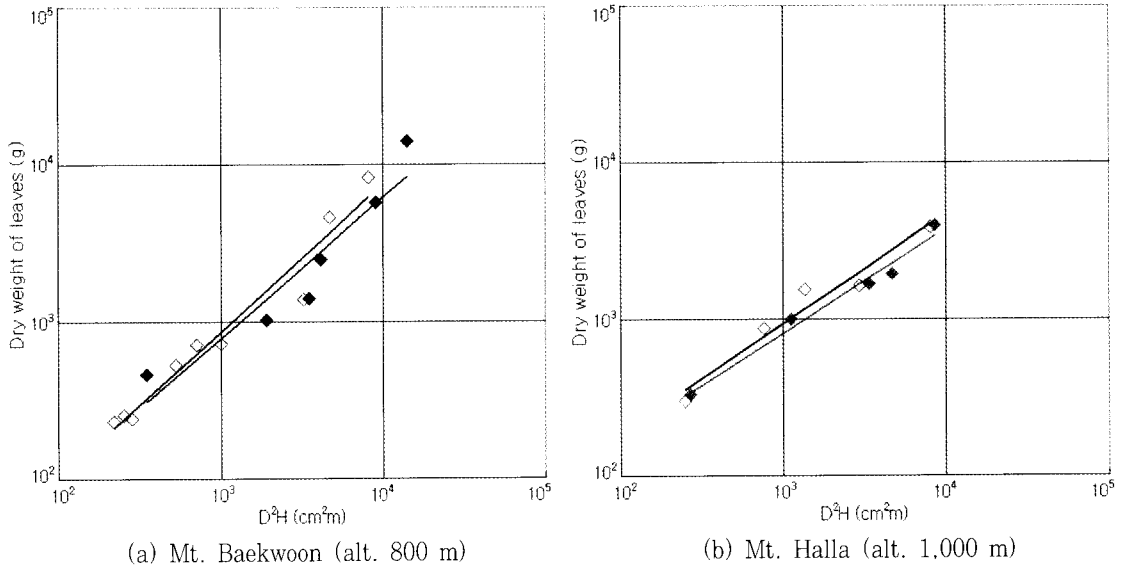


Fig. 1. Allometric relations between leaf dry weights and  $D^2H$  (North; ◆, South; ◇).

은 북사면에서 자라고 있는 신갈나무가 남사면에서 자라는 신갈나무보다 가지를 더 많이 뺏고 있기 때문으로 생각된다.

있는 백운산 북사면 지역과 남사면 지역이 각각 0.89과 0.93인 반면, 한라산 지역이 0.70 이하로 작은 계수를 보이고 있어서, 같은 크기의 신갈나무에서 한라산 지역의 엽량이 백운산 지역에 비해 적은 것으로 나타났다(Fig. 1).

신갈나무림의 바이오매스 현존량을 Table 6에 요약하였다. 신갈나무림의 바이오매스 총량은 백운산 지역 240~290 ton/ha, 한라산 지역 360 ton/ha 내외이며, 이 중 지상부 바이오매스는 백운산 지역 200~250 ton/ha, 한라산 지역 300~310 ton/ha로 나타났다. 독일의 Schwappach (1912) 및 영국의 Waters와 Christie (1958)는 *Quercus robur*에 대한 바이오매스 조사에서 개체목이 클수록 바이오매스가 현저히 증가한다고 보고한 바 있는데, 한라산 지역의 경우 흉고직경이 50 cm 이상인 큰 나무들이 산재해 있었기 때문에 백운산 지역보다 현존량이 크게 나타난 것으로 보인다.

본 연구지의 바이오매스를 비슷한 임령의 다른 연구와 비교하면, 박 등(2003)이 연구한 강원도 춘천 지역의 50년생 신갈나무림(지상부 438 ton/ha, 전체

495.07 ton/ha)보다는 적지만, 충북 충주 지역의 67년생 신갈나무림 125.8 ton/ha (송과 이, 1996)에 비해서는 높게 나타났다. 또한 Ovington (1965)은 온대지방 참나무속의 평균치를 174.6 ton/ha라고 했고 Burgess (1981)는 온대활엽수림의 평균치가 173.52 ton/ha라고 했는데, 백운산 지역과 한라산 지역은 모두 이보다 훨씬 더 높은 값을 보였다. 그 이유는 조사 지역의 임분이 장령림이어서 흉고직경이 큰 개체들이 많았고 임분밀도도 비교적 높았기 때문으로 생각된다.

한편, 신갈나무림의 지상부 바이오매스를 다른 수종의 연구 결과들과 비교해보면, 굴참나무의 경우 박 등(2003)이 강원 춘천 지역 49년생이 279.94 ton/ha (전체 317.46 ton/ha)라고 하였고, 박과 이(2001)는 충남 공주 41년생 91.31 ton/ha, 경북 포항 45년생 207.6 ton/ha, 강원 양양 54년생 71.39 ton/ha라고 하였다. 소나무류의 경우 이(1985)는 36년생인 강원도 소나무림이 198.82 tons/ha라고 하였으며, 이와 권(2005)은 48년생 충북 월악산 소나무림 280.41 ton/ha, 36년생 태화산 리기다소나무림 369.77 ton/ha으로 보고하였다. 이상의 연구 결과들을 종합하면, 비슷한 임령에서 신갈나무림이 굴참나무나 소나무류에 비해 바이오매스가 적은 것으로 판단된다.

Table 6. The tree biomass (mean±SD) of *Q. mongolica* stands in the study sites (ton/ha)

Site	Stemwood	Sap-wood	Heart-wood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Baekwoon (Northern aspect)	163.50	74.61	88.89	21.08	61.71	4.11	250.41	38.02	288.43
	±5.79	±3.93	±2.05	±1.12	±1.95	±0.24	±9.07	±2.52	±11.55
	(56.69)	(25.87)	(30.82)	(7.31)	(21.40)	(1.43)	(86.82)	(13.18)	(100.00)
Mt. Baekwoon (Southern aspect)	137.89	58.82	79.08	19.23	46.43	4.33	207.88	34.02	241.90
	±3.69	±1.11	±2.71	±0.44	±1.40	±0.10	±5.63	±0.78	±6.39
	(57.00)	(24.31)	(32.69)	(7.95)	(19.19)	(1.79)	(85.94)	(14.06)	(100.00)
Mt. Halla (Northern aspect)	211.84	78.25	133.59	30.15	65.68	4.14	311.82	56.61	368.43
	±23.21	±11.31	±17.99	±3.27	±8.38	±0.50	±34.61	±6.63	±39.99
	(57.50)	(21.24)	(36.26)	(8.18)	(17.83)	(1.12)	(84.63)	(15.37)	(100.00)
Mt. Halla (Southern aspect)	203.95	67.82	136.14	28.98	62.12	5.80	300.85	63.48	364.33
	±36.33	±3.52	±32.91	±4.93	±14.16	±0.38	±55.79	±5.77	±61.56
	(55.98)	(18.61)	(37.37)	(7.95)	(17.05)	(1.59)	(82.58)	(17.42)	(100.00)

\* The value in parenthesis indicates the percentage of each organ to the total.

### 3.1.2. 신갈나무림의 연간 순생산량

신갈나무림의 연간 순생산량을 구하기 위해 전년도 직경 성장량과 수고 성장량을 이용하여 각 부위별로 연간 순생산량을 구한 결과를 Table 7에 정리했다. 신갈나무림의 연간 순생산량은 백운산 지역 17.71~20.75 ton/ha/yr, 한라산 지역 19.05~21.25 ton/ha/yr이며, 이 중 지상부는 백운산 지역 15.22~18.03 ton/ha/yr, 한라산 지역 16.11~17.53 ton/ha/yr로 나타났다.

박 등(2003)은 강원도 춘천 지방에서 50년생 신갈나무림의 지상부 연간 순생산량을 19.61 ton/ha/yr (전체 21.85 ton/ha/yr)라고 하였고, 박(2003)은 평창 지역 52년생 신갈나무림의 지상부 연간 순생산량이 10.31 ton/ha/yr, 영동 지역 35년생은 11.36 ton/ha/yr, 광양 지역 42년생은 5.79 ton/ha/yr라고 하였다. 그 외에 박과 문(1994)은 전남 모후산 지역 신갈나무림의 지상부 연간 순생산량이 11.1 ton/ha/yr라고 하였고, 이와 박(1986)은 강원 홍천 지역의 36년생 신갈나무림이 12.72 ton/ha/yr라고 하였다. 본 연구 결과와 비교하면 박 등(2003)의 연구를 제외하면 백운산 지역과 한라산 지역 신갈나무림의 연간 순

생산량이 높은 것으로 나타났는데, 본 연구 대상 임분의 직경급이 크고 임내 환경이 유리하기 때문으로 생각된다.

신갈나무림의 지상부 연간 순생산량을 다른 수종의 연구 결과들과 비교해보면, 굴참나무의 경우 박 등(2003)은 강원도 춘천의 49년생은 14.35 ton/ha/yr (전체 15.91 ton/ha/yr)라고 하였으며, 박과 이(2001)는 충남 공주 41년생이 7.81 ton/ha/yr, 경북 포항 45년생 11.50 ton/ha/yr, 강원 양양 54년생 6.40 ton/ha/yr로 보고하였다. 또한 침엽수종의 경우, 이와 권(2005)은 충북 제천 월악산 48년생 소나무림 16.94 ton/ha/yr, 월악산 30년생 낙엽송림 54.7 ton/ha/yr, 경기 광주 태화산 30년생 리기다소나무림 43.58 ton/ha/yr로 보고하였다. 이상의 연구 결과에서 일반적으로 신갈나무림이 낙엽송이나 리기다소나무에 비해 연간 순생산량이 적은 반면 비슷한 임령에서 굴참나무림이나 졸참나무림보다 더 높은 것으로 추정된다.

### 3.1.3. 신갈나무림의 생산 효율

신갈나무림의 바이오매스 현존량에 대한 연간 순생



Table 7. Annual net production (mean±SD) of *Q. mongolica* stands in the study sites (ton/ha/yr)

Site	Stemwood	Sap-wood	Heart-wood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Baekwoon (Northern aspect)	9.28	3.80	5.48	1.05	3.59	4.11	18.03	2.72	20.75
	±2.67 (44.70)	±1.05 (18.30)	±1.63 (26.41)	±0.29 (5.06)	±1.05 (17.31)	±0.24 (19.81)	±3.77 (86.87)	±0.49 (13.13)	±4.26 (100.00)
Mt. Baekwoon (Southern aspect)	7.38	2.79	4.59	0.92	2.59	4.33	15.22	2.49	17.71
	±0.25 (41.68)	±0.13 (15.77)	±0.12 (25.91)	±0.04 (5.22)	±0.08 (14.62)	±0.10 (24.43)	±0.46 (85.94)	±0.06 (14.06)	±0.52 (100.00)
Mt. Halla (Northern aspect)	8.20	2.81	5.39	1.15	2.63	4.14	16.11	2.94	19.05
	±0.69 (43.05)	±0.17 (14.75)	±0.55 (28.30)	±0.09 (6.04)	±0.26 (13.79)	±0.50 (21.72)	±1.52 (84.59)	±0.41 (15.41)	±1.89 (100.00)
Mt. Halla (Southern aspect)	8.11	2.63	5.48	1.15	2.48	5.80	17.53	3.72	21.25
	±1.18 (38.14)	±0.39 (12.38)	±0.8 (25.77)	±0.17 (5.41)	±0.36 (11.66)	±0.38 (27.30)	±2.09 (82.51)	±0.07 (17.49)	±2.16 (100.00)

\* The value in parenthesis indicates the percentage of each organ to the total.

Table 8. Biomass accumulation ratio and net assimilation rate of the *Q. mongolica* stands

Site	Mt. Baekwoon		Mt. Halla	
	Northern aspect	Southern aspect	Northern aspect	Southern aspect
Biomass accumulation ratio	13.90	13.66	19.34	17.14
Net assimilation rate	5.05	4.09	4.60	3.66

산량의 비율인 현존량 축적율은 백운산 지역에서 북사면 13.90, 남사면 13.66이었으며, 한라산 지역에서 북사면 19.34, 남사면 17.14로 나타났다(Table 8). Wittaker (1966)는 온대 활엽수림에서 현존량 축적율은 유령림 9 내외, 장령림 13~21, 노령림 29~40, 성숙림 41~52를 보인다고 하였으며, 여기에 의하면 본 조사지역인 광양 백운산 지역과 제주 한라산 지역의 신갈나무림은 모두 장령림에 속한다고 할 수 있다.

한편, Table 8에서 앞의 생산 효율인 순동화율(net assimilation rate: NAR)은 백운산 지역이 4.09~5.05로서 한라산 지역(3.66~4.60)보다 더 높게 나타났다. Burgess (1981)는 온대 활엽수림의 평균치가 2.6이라고 하였으며, 박 등(2003)은 강원 춘천 지역의 50년생 신갈나무림이 4.05이고 생산력이 높은 편이라고 보고한 바 있다. Zavitkovski와 Stevens (1972)는 NAR이 임분 생산력의 지표가 된다고 하였는데,

본 조사지역의 생산력도 상당히 높은 수준이라고 할 수 있다. 한라산 지역 신갈나무림의 바이오매스 현존량이 백운산 지역보다 많은 것은 순동화율은 낮아도 앞의 현존량이 더 많아서 앞의 현존량과 순동화율의 종합적인 결과라고 할 수 있는 순생산량이 더 많아졌기 때문으로 파악된다.

### 3.2. 신갈나무림의 에너지량

#### 3.2.1. 신갈나무림의 에너지 현존량

신갈나무림의 에너지량을 구하기 위해 각 표본목별로 변재부, 심재부, 수피, 잎, 뿌리에 대해 2반복으로 발열량을 측정하였으며, 이 측정값을 각각의 표본목에 대입하여 각 조사지별로 신갈나무림의 부위별(변재부, 심재부, 가지, 잎, 지상부 합계, 뿌리, 전체)에

Table 8. Energy content (mean±SD) of each components of *Q. mongolica* sample trees (KJ/g)

Component	Leaf	Bark	Sapwood	Heartwood	Root
Mt. Baekwoon (Northern aspect)	5.05±0.11	4.92±0.10	4.79±0.06	4.63±0.23	4.63±0.16
Mt. Baekwoon (Southern aspect)	5.00±0.17	4.93±0.17	4.82±0.10	4.76±0.11	4.71±0.11
Mt. Halla (Northern aspect)	4.99±0.17	4.94±0.21	4.70±0.11	4.67±0.13	4.58±0.14
Mt. Halla (Southern aspect)	4.97±0.05	4.91±0.11	4.69±0.08	4.61±0.13	4.41±0.29

Table 9. Energy content (mean±SD) of *Q. mongolica* stands in the study sites (GJ/ha)

Site	Stemwood	Sap-wood	Heart-wood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Baekwoon (Northern aspect)	3175.76	1,493.52	1,682.24	432.28	1,238.18	87.43	4,933.65	732.82	5,666.47
	±119.42	±79.01	±40.50	±23.12	±39.25	±5.08	±183.40	±48.58	±231.24
	(56.05)	(26.36)	(29.69)	(7.63)	(21.85)	(1.54)	(87.07)	(12.93)	(100.00)
Mt. Baekwoon (Southern aspect)	2717.46	1,168.11	1,549.35	402.21	926.53	91.31	4,137.51	655.64	4,793.15
	±74.34	±22.01	±52.33	±9.28	±27.75	±2.13	±110.70	±15.06	±125.49
	(56.69)	(24.37)	(32.32)	(8.39)	(19.33)	(1.91)	(86.32)	(13.68)	(100.00)
Mt. Halla (Northern aspect)	3828.13	1,397.86	2,430.27	544.73	1,125.93	69.46	5,568.24	982.02	6,550.26
	±780.37	±222.63	±557.75	±50.79	±138.8	±5.37	±913.13	±115.07	±980.91
	(58.41)	(21.34)	(37.10)	(8.32)	(17.19)	(1.06)	(85.01)	(14.99)	(100.00)
Mt. Halla (Southern aspect)	3386.19	1,167.00	2,219.19	543.62	1,201.05	80.46	5,211.33	1,223.36	6,434.70
	±302.35	±59.98	±242.38	±31.67	±181.57	±2.97	±394.38	±111.13	±505.36
	(52.63)	(18.14)	(34.49)	(8.45)	(18.67)	(1.25)	(80.99)	(19.01)	(100.00)

\* The value in parenthesis indicates the percentage of each organ to the total.

너지량을 계산하였다. Table 8은 모든 표본목들의 부위별 에너지량을 지역별로 평균한 결과이며, Table 9에 신갈나무의 에너지 현존량을 나타내었다.

신갈나무림의 지상부는 한라산 해발 1000 m 북사면이 6,550 GJ/ha (지상부 5,568 GJ/ha)로 가장 높게 나타났고, 남사면 6,435 GJ/ha (지상부 5211 GJ/ha), 백운산 해발 800 m 북사면 5,666 GJ/ha (지상부 4,934 GJ/ha), 남사면 4,793 GJ/ha (지상부 4,138 GJ/ha)로 나타났다.

이 결과를 다른 수종의 지상부 에너지량과 비교해보면, 충북 월악산 35년생 신갈나무림 3,000 GJ/ha, 48년생 소나무림 6,086 GJ/ha, 24년생 잣나무림 1,028 GJ/ha, 30년생 낙엽송림 8,357 GJ/ha, 경기 광주 태화산 36년생 리기다소나무림 7,971 GJ/ha으로서 60~70년생 신갈나무림의 에너지량은 24년생

잣나무림보다 많았지만 48년생 소나무림이나 30년생 낙엽송림, 36년생 리기다소나무림보다는 적었다. 이러한 결과가 나온 이유는 낙엽송과 리기다소나무가 생육적지에 조림되어 수고가 높고 생장이 빠르며 단위 무게(건중)당 열량도 신갈나무보다 더 높았기 때문으로 생각된다(이와 권, 2005).

### 3.2.2. 신갈나무림의 연간 에너지 고정량

전년도 직경 성장량과 수고 성장량을 이용하여 연간 에너지 고정량을 구한 결과를 Table 10에 나타냈다. 신갈나무림의 연간 에너지 고정량은 백운산 지역 360~365 GJ/ha/yr, 한라산 지역 347~351 GJ/ha/yr이며, 이 중 지상부는 백운산 지역 312 GJ/ha/yr, 한라산 지역 279~294 GJ/ha/yr로서 백운산 지역의 연간 에너지 고정량이 한라산 지역보다 더 많은 것으로

Table 10. Annual net energy content (mean±SD) of *Q. mongolica* stands in the study sites (GJ/ha/yr)

Site	Stemwood	Sapwood	Heartwood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Baekwoon (Northern aspect)	149.47	63.05	86.42	17.46	58.22	87.43	312.57	52.55	365.12
	±9.54	±4.74	±4.81	±1.30	±3.41	±5.08	±19.33	±9.31	±10.90
	(40.94)	(17.27)	(23.67)	(4.78)	(15.95)	(23.94)	(85.61)	(14.39)	(100.00)
Mt. Baekwoon (Southern aspect)	148.93	57.37	91.56	19.33	52.03	91.31	311.61	47.99	359.60
	±3.90	±2.07	±1.82	±0.84	±1.54	±2.13	±8.18	±1.20	±9.38
	(41.41)	(15.95)	(25.46)	(5.38)	(14.47)	(25.39)	(86.65)	(13.35)	(100.00)
Mt. Halla (Northern aspect)	155.25	52.43	102.82	21.77	47.63	69.46	294.11	56.58	350.69
	±15.62	±3.57	±12.06	±0.63	±1.28	±5.37	±21.59	±7.65	±28.05
	(44.27)	(14.95)	(29.32)	(6.21)	(13.58)	(19.81)	(83.87)	(16.13)	(100.00)
Mt. Halla (Southern aspect)	128.07	43.99	84.08	23.19	47.53	80.46	279.26	68.11	347.37
	±3.84	±3.01	±0.82	±2.38	±4.28	±2.97	±6.81	±1.34	±8.11
	(36.87)	(12.66)	(24.21)	(6.68)	(13.68)	(23.16)	(80.39)	(19.61)	(100.00)

\* The value in parenthesis indicates the percentage of each organ to the total.

나타났다. 이 결과를 다른 수종의 지상부 연간 에너지 고정량과 비교하면, 충북 월악산 35년생 신갈나무림 441 GJ/ha, 48년생 소나무림 393 GJ/ha, 24년생 잣나무림 133 GJ/ha, 30년생 낙엽송림 1,256 GJ/ha, 경기 광주 태화산 36년생 리기다소나무림 932 GJ/ha 등으로서(이돈구와 권기철, 2005), 35년생 신갈나무림, 48년생 소나무림, 30년생 낙엽송림, 36년생 리기다소나무림보다 적었다.

#### 4. 결 론

우리나라의 활엽수림대에서 가장 넓은 분포를 보이고 있는 신갈나무 임분을 대상으로 남부 지방에서의 바이오매스와 에너지 고정량을 구명하기 위해 전남 광양 백운산 지역과 제주 한라산 지역을 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

전남 광양 백운산 지역(해발 800 m)에서 북사면 60년생 신갈나무림의 바이오매스 현존량은 288.4 ton/ha (지상부 250.4 ton/ha), 남사면 70년생은 241.9 ton/ha (지상부 207.9 ton/ha)이었으며, 제주 한라산 지역(해발 1000 m)에서 북사면 60년생은

368.4 ton/ha (지상부 311.8 ton/ha), 남사면 60년생은 364.3 ton/ha (지상부 300.8 ton/ha)로 나타났다. 또한 연간 순생산량은 백운산 지역 북사면에서 20.7 ton/ha/yr (지상부 18.0 ton/ha/yr), 남사면 17.7 ton/ha/yr (지상부 15.2 ton/ha/yr)이었으며, 한라산 지역 북사면 19.0 ton/ha/yr (지상부 16.1 ton/ha/yr), 남사면 21.2 ton/ha/yr (지상부 17.5 ton/ha/yr)로서 바이오매스 현존량과 연간 순생산량 모두 한라산 지역이 더 높은 것으로 나타났다.

잎의 생산 효율인 순동화율(NAR)은 백운산 지역이 4.09~5.05로서 한라산 지역(3.66~4.60)보다 더 높게 나타났으며, 전반적으로 높은 수준이다. 한라산 지역 신갈나무림의 바이오매스 현존량이 백운산 지역보다 많은 것은 순동화율은 다소 낮아도 잎의 현존량이 더 많기 때문에 종합적인 생산성이 더 많은 것으로 생각된다.

한편, 백운산 지역에서 북사면 신갈나무림의 에너지 현존량은 5,666 GJ/ha (지상부 4,934 GJ/ha), 남사면은 4,793 GJ/ha (지상부 4,138 GJ/ha)이었으며, 한라산 지역에서 북사면은 6,550 GJ/ha (지상부 5,568 GJ/ha), 남사면은 6,435 GJ/ha (지상부 5,211

GJ/ha)로 나타났다. 또한 연간 에너지 고정량은 백운산 지역 북사면 365 GJ/ha/yr (지상부 313 GJ/ha/yr), 남사면 360 GJ/ha/yr (지상부 312 GJ/ha/yr)이었으며, 한라산 지역 북사면 351 GJ/ha/yr (지상부 294 GJ/ha/yr), 남사면 347 GJ/ha/yr (지상부 279 GJ/ha/yr)로서 바이오매스와 달리 연간 에너지 고정량은 백운산 지역이 한라산 지역보다 더 높은 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 권기철. 2006. 신갈나무림의 바이오매스, 탄소 고정량 및 에너지 고정 효율 -위도, 해발고, 사면을 중심으로-. 서울대학교 농학박사학위논문. p. 126.
2. 김정연, 김봉섭. 2000. 한국의 신갈나무 숲. 원광대학교 출판국. p. 511.
3. 박관수. 2003. 광양, 평창, 영동 지역 신갈나무 임분의 현존생물량 및 순생산량. 한국임학회지 92(6): 567~574.
4. 박관수, 이승우. 2001. 공주, 포항, 그리고 양양 지역 굴참나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 90(6): 692~698.
5. 박인협, 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 83(23): 246~253.
6. 박인협, 서영권, 김동엽, 손요환, 이명종, 진현오. 2003. 강원도 춘천지역 신갈나무 임분과 굴참나무 임분의 물질생산. 한국임학회지 92(1): 52~57.
7. 송철영, 이수옥. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산성에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 443~452.
8. 심상철. 1974. 자원에너지와 활동한계. 원자력학회지 6(1): 58~67.
9. 이경학, 정영교, 손영모. 1998. 경기도 포천지방 35년생 잣나무인공림의 바이오매스에 관한 연구. 한국산림측정학회지 1(1): 61~68.
10. 이돈구, 김갑덕, 안원영, 이수옥, 이경재. 1987. 삼림생태계의 에너지 생산구조와 이용에 관한 연구. 임산에너지 7(2): 1~6.
11. 이돈구, 권기철. 2005. 산림 폐 바이오매스를 활용한 발효 열교환장치 개발. 농림부 농림기술관리센터. pp. 29-92.
12. 이돈구, 김지홍, 조재창, 차동호. 1990. 참나무자원의 종합이용 개발에 관한 연구(III) - 제2장 생태연구 편. 과학기술처. p. 449.
13. 이수옥, 박관화. 1986. 한국의 소나무 및 참나무 천연림 생태계의 Biomass 및 유기Energy 생산에 관한 연구. 한국임산에너지학회지 6(1): 46~58.
14. 임경빈, 김갑덕, 이경재, 김용식, 박인협, 김갑태, 이승호, 박효섭. 1981. 15년생 낙엽송임분의 성장 및 생산구조. 임산에너지 1(1): 4~12.
15. 吉良龍夫. 1976. 陸上生態界概論. 共立出版株式會社. p. 166.
16. Burgess, R. L. 1981. Physiognomy and phytosociology of the international woodland research sites. pages 1-35 in D. E. Reichle (ed.). Dynamic Properties of Forest Ecology. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
17. Kimmins, J. P. 1997. Forest Ecology 2nd ed. Prentice-Hall, Inc. p. 596.
18. Kira, T., H. Ogawa, and K. Ogino. 1967. Comparative ecological studies on three main type of forest vegetation in Thailand - IV. Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest. Nature and life southeast Asia 5: 149~174.
19. Kittredge, J. 1944. Estimation of amount of foliage of trees and stands. Jour. Forestry 42: 905~912.
20. Kozak, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. The Forestry Chronicle. pp. 402~404.
21. Ovington, J. D. 1965. Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. Biol. Rev. 40: 295~336.
22. Saucier, J. R. 1979. Estimation of biomass production and removal. Proceedings of Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. pp. 172~189.
23. Schwappach, A. 1912. Ertragstabeln der Wichtigeren Holzarten, Neudamm. p. 83.
24. Waters, W. T. and J. M. Christie. 1958. Provisional yield tables for oak and beech in Great Britain. For. Rec. pp. 36, 31.
25. Whittaker, R. H. 1966. Forest dimension and production in the Great Smoky Mountains. Ecology 47(1): 103~121.
26. Zavitskovsky, J. and R. D. Stevens. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. Ecology 53(2): 235~242.