

평창 및 제천 지역 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량

이돈구¹ · 권기철^{2*}

¹서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, ²국립산림과학원

Biomass and Annual Net Production of *Quercus mongolica* Stands in Pyungchang and Jecheon Areas

Don Koo Lee¹ and Ki-Cheol Kwon^{2*}

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 강원도 평창군 중왕산 지역 60~70년생 신갈나무림과 충북 제천 월악산 지역 35년생 신갈나무림에서 사면과 지역에 따른 바이오매스와 연간 순생산량을 비교하였다. 강원 중왕산 해발 1000 m 지역에 있는 60~70년생 신갈나무림의 바이오매스는 북사면에서 252.9 ton/ha (지상부 212.2 ton/ha), 남사면에서 212.3 ton/ha (지상부 177.4 ton/ha)이며, 충북 월악산 해발 300 m 북사면 지역의 35년생 신갈나무림은 198.7 ton/ha (지상부 157.3 ton/ha)로 추정되었다. 또한 연간 순생산량은 중왕산 북사면 지역 17.3 ton/ha/yr (지상부 14.5 ton/ha/yr), 남사면 지역 14.2 ton/ha/yr (지상부 11.9 ton/ha/yr), 월악산 지역 21.2 ton/ha/yr (지상부 16.8 ton/ha/yr)로 추정되어, 중왕산 지역 북사면에서 남사면보다 바이오매스와 연간 순생산량이 더 크게 나타났다. 엽면적 지수의 경우 중왕산 지역 북사면(5.77)이 남사면(3.97)보다 더 많으며, 월악산 35년생 신갈나무림은 중왕산 지역보다 잎의 중량이 더 많고 엽면적 지수도 11.17로 높게 나타났다. 반면 잎의 순동화율은 중왕산 해발 1000 m 북사면 지역 4.26 kg/kg/yr, 남사면 지역 6.06 kg/kg/yr, 월악산 지역 2.60 kg/kg/yr으로 나타나, 중왕산 남사면 지역이 가장 높고 월악산 지역이 가장 낮아 중왕산 지역에서 잎의 생산효율이 더 좋은 것으로 나타났다.

Abstract: This study was to compare the biomass and annual net production between 60 to 70-year-old *Quercus mongolica* stand facing northern and southern aspect in Mt. Joongwang (1000 m from sea level), Pyungchang and 35-year-old *Q. mongolica* stand in Mt. Wolak (300m from sea level), Jecheon. The total biomass was 252.9 ton/ha in northern aspect and 212.2 ton/ha in southern aspect of Mt. Joongwang while 198.7 ton/ha in northern aspect of Mt. Wolak. Annual net production was 17.3 ton/ha/yr in northern aspect and 14.2 ton/ha/yr in southern aspect of Mt. Joongwang while 21.2 ton/ha/yr in Mt. Wolak. Total biomass, especially leaf and branch biomass in north slope was greater than those in south slope of Mt. Joongwang. Leaf area index (LAI) of *Q. mongolica* stand was 11.17 in Mt. Wolak while 5.77 in northern aspect and 3.97 in southern aspect of Mt. Joongwang, and the net assimilation rate (NAR) was 2.60 kg/kg/yr, 4.26 kg/kg/yr, 6.06 kg/kg/yr in same order.

Key words : *Quercus mongolica*, biomass, annual net production, LAI, NAR, aspect

서론

1970년도 우리나라의 산림 현황은 침엽수림 3,295,111 ha (49.8%), 활엽수림 1,216,813 ha(18.4%), 혼효림은 1,229,265 ha(18.6%), 죽림과 무입목지 873,775 ha(13.2%)이었으나

(대한민국농림부, 1971), 2004년에는 침엽수림의 면적이 줄어든 반면 활엽수림의 면적은 늘어났다. 김정언과 길봉섭(2000)은 우리나라에서 신갈나무림의 점유율을 전체 활엽수림 면적의 약 40% 정도로 추정하였고, 이돈구 등(1990)은 참나무류가 차지하고 있는 임목 축적량이 전체 산림의 27%를 차지하고 있으며 이 비율은 계속 증가하는 추세라고 하였다.

이처럼 신갈나무는 우리나라에서 가장 넓은 분포를 보이고 있는 대표적인 활엽수종으로서 만주와 연해주 일대

*Corresponding author

E-mail: kkch30@yahoo.co.kr

본 논문은 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의한 연구(산림페 바이오매스를 활용한 발효열교환장치 개발) 결과의 일부임

부터 제주도과 일본에까지 우리나라 전역에서 자라고 있다(Kim과 Manyko, 1994; Kim, 1992; 中井, 1976). 특히 신갈나무는 도시근교림과 농촌 산림과 같이 산불과 벌채로 파괴된 후 형성된 이차림에서 우점하고 있어서 우리나라 대부분의 지역에서 쉽게 발견된다.

따라서 우리나라의 활엽수 중에서 가장 넓은 분포 면적과 가장 많은 축적량을 가지고 있는 신갈나무림의 생산력을 정확히 파악하고 그것을 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 미국에서는 2010년까지 목재자원으로 미국 내 에너지 자원의 4%를 충당할 수 있도록 계획하고 산림의 바이오매스와 바이오에너지에 대한 많은 연구를 진행하고 있다(U.S. Department of Energy, 1986). 그러나 아직까지 우리나라에서 신갈나무림의 물질 생산량에 대한 연구는 일정 지역의 임분에 국한되어 수행되었을 뿐(박관수, 1999; 박인협, 2003; 박관수, 2003), 사면 등 환경 조건에 따른 물질 생산량과 생산구조를 비교한 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구의 목적은 강원 평창 중왕산 지역 60~70년생 신갈나무림과 충북 제천 월악산 지역 35년생 신갈나무림을 대상으로 사면과 지역에 따른 바이오매스와 연간 순생산량을 비교하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정

본 연구는 강원도 평창군 중왕산 지역(37° 29' N, 128° 32' E)과 충북 제천시 월악산 지역(36° 51' N, 128° 11' E)을 중심으로 수행되었다(Table 1). 충북 월악산 지역의 산림은 과거 화전민에 의해 산림이 훼손된 이후 이차림이 조성된 전형적인 한국의 산림이다. 반면 강원도 중왕산 지역의 산림은 인위적 훼손이 거의 일어나지 않은 임분으로서 산림의 구조와 기능이 비교적 양호하여 천연림의 생산구조 및 연간 순생산량 파악에 적절하다.

강원도 평창군 중왕산 지역은 많은 지역에서 신갈나무

가 우점하고 있다. 북사면에서는 신갈나무, 사시나무, 느릅나무, 다릅나무, 고로쇠나무, 난티나무, 층층나무, 피나무 등이 상층입관을 구성하고 있으며, 남사면에서는 신갈나무, 피나무, 느릅나무, 물푸레나무 등이 상층입관을 이루고 있다. 임목의 대부분이 흉고직경 20 cm 이상이며, 30 cm가 넘는 것도 많은 장령림이다.

충북 제천시 월악산 신갈나무림은 평균흉고직경 13.5 cm로서 신갈나무가 우점하고 있지만, 굴참나무와 졸참나무도 함께 상층을 형성하고 있으며 쪽동백과 굴피나무가 중층을 우점하고 있다. ha당 본수는 약 2,425본 정도이다.

2. 임분 및 바이오매스 조사

임분의 바이오매스 측정을 위해서 각 지역별로 신갈나무림에 20 m×20 m 크기의 조사구를 3곳씩 설치하여 매 목조사를 실시하였다. 그리고 흉고직경이 4 cm 이상인 임목을 각 흉고직경급별로 1본씩 각 지역별로 6~10본을 선정 후 수확하여 지상부에서 2 m 간격으로 줄기(수피, 목질부), 가지, 잎의 생중량을 측정하였다(Table 2). 이때 각 표본목에서 줄기, 가지, 잎의 일부를 채취하였으며, 실험실에서 건조기로 80°C 이상에서 항중량에 이를 때까지 건조시킨 후 건조량지수를 산출하고 생중량에 적용시켜 전체 건조량을 계산하였다. 또한 각 지역별로 2본씩 총 6본의 신갈나무를 굴취하여 지하부(뿌리)의 바이오매스를 측정하였다.

현존량의 추정에는 D^2H 와 Ws (줄기 건조), Wbk (수피 건조), Wb (가지 건조), Wl (잎 건조)과의 관계를 대수회귀식으로 한 상대생장식에 의해서 계산했으며, 지하부는 굴취한 신갈나무의 지상부와 지하부의 비율로 추정하였다. 연간 순생산량의 추정은 수간석해를 실시하여 1년간의 수고 및 흉고직경의 성장량을 조사하고 여기서 얻은 연간 흉고직경 성장량(D)과 연간 수고성장량(H)에서 D^2H 를 계산하고 이를 상대생장식에 대입하여 전년과 당년의 현존량차로 계산하였다. 지하부의 연간 순생산량은 지상부 현존량

Table 1. The characteristics of the study sites.

Sites	Plot no.	Altitude (m)	Topography	Aspect (°)	Slope (°)	Mean age (yr.)	SV** (%)	No/ha
Mt. Joongwang	J-a	1,000	MS	NE8	23	60	89.7	1,600
	J-b	1,000	MS	NE42	25	60	98.4	1,250
	J-c	950	MS	NE54	25	60	91.3	1,075
	J-d	1,000	MS	SE15	27	70	93.2	1,250
	J-e	1,000	MS	SE40	20	70	89.7	1,175
	J-f	1,050	MS	SE20	25	70	91.4	1,100
Mt. Wolak	W-a	300	LS	NE65	10	35	80.8	2,425
	W-b	320	LS	NE60	15	35	84.4	2,050
	W-c	275	LS-V	NE80	10	35	82.5	2,475

*Topography : MS; Middle slope, LS; Lower slope, V; Valley

**SV : Synthetic value of *Quercus mongolica*, $SV = (RD + RC) / 2$

Table 2. Mean DBH, height and age of sample trees in study sites.

DBH (cm)	Height (m)	Age (yrs)	DBH (cm)	Height (m)	Age (yrs)	DBH (cm)	Height (m)	Age (yrs)
Mt.Joongwang (North)			Mt.Joongwang (South)			Mt.Wolak		
6.4	6.90	22	6.2	6.65	18	4.3	4.21	24
9.4	10.45	50	14.2	13.40	52	5.9	8.60	28
13.5	15.20	54	18.0	13.20	70	6.5	9.18	28
16.1	15.60	55	20.4	17.80	66	7.8	11.00	31
22.5	16.48	57	23.5	18.70	73	9.4	11.10	32
26.5	18.10	64	27.0	18.90	71	10.2	11.10	36
34.0	18.40	60				13.0	12.30	37
						13.2	14.35	37
						14.3	14.40	38
						17.6	14.78	38

에 대한 지상부 연간 순생산량의 비율을 지하부 현존량에 곱하여 추정하였다(권기철, 2006; Suganuma, 2006).

신갈나무의 엽면적 측정은 일정량의 잎 시료의 무게(건중)를 1/100 g 저울로 측정한 후, Delta-T Area Meter (1998)를 사용하여 측정하였다.

3. 입분 환경 분석

환경 조건으로는 조사구의 방위, 해발고, 평균 경사도, 지형, 토양 특성 등을 조사하였다. 토양 시료는 각 조사구마다 3곳에서 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 CaCl₂를 각각 1:5의 비율로 섞어 pH meter(Bench top pH meter, HANNA Instrument Inc.)로 측정하여 Table 3에 요약하였다.

월악산 신갈나무림의 조사지 토양은 계곡에 걸친 사면 하부라는 지형 특성상 토양수분이 많았으나, 유기물 함량은 비교적 적은 것으로 나타났다. 토성은 사양토로 나타나 식물 생육에 적당하였다. 한편, 중왕산 신갈나무림 지

역은 전체적으로 사질식양토의 토양으로 나타났다. 북사면 지역이 남사면 지역에 비해 토양 pH가 낮지만, 토양수분이 더 많고 유기물함량이 높게 나타나 식물생육에 북사면 지역의 토양 환경이 좀 더 유리한 것으로 보인다.

결과 및 고찰

1. 생산구조 분석

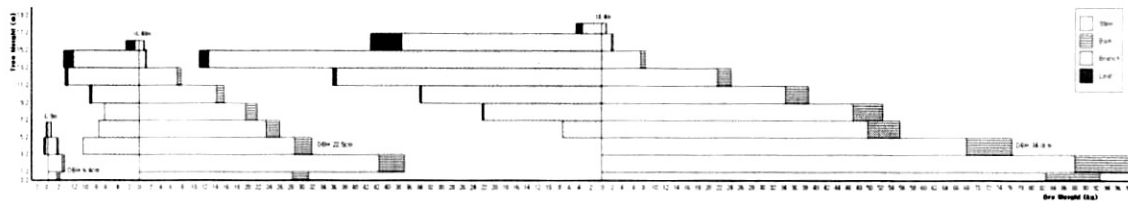
강원도 중왕산 지역 신갈나무림을 사면별로 비교해보면, 북사면 지역은 광합성부가 지상 7.2 m부터 시작하여 13.2-17.2 m 사이에서 최대광합성부가 형성되지만, 남사면 지역은 광합성부가 지상 7.2 m부터 시작하여 9.2-17.2 m 사이에 형성된다(Figure 1). 비슷한 경급끼리 비교했을 때, 흉고직경 20 cm 이상인 신갈나무 우점종은 남사면에 자라는 것의 수고생장이 약 2 m 가량 더 우세한데, 이것은 남사면 신갈나무림의 입분밀도가 북사면보다 더 높기 때문으로 여겨진다. 한편 흉고직경 15 cm 이하에서는 남사면보다 북사면에 자라는 신갈나무의 수고생장이 더 빠른 것으로 나타났으며, 최대광합성부도 더 위로 치우치는 경향을 보인다. 한편, Figure 1에서 월악산 지역 신갈나무림에서 최대광합성부는 지상부 9.2 m부터 시작하여 최대 광합성부가 11.2-13.2 m 사이에서 나타나고 있다.

2. 바이오매스와 연간 순생산량

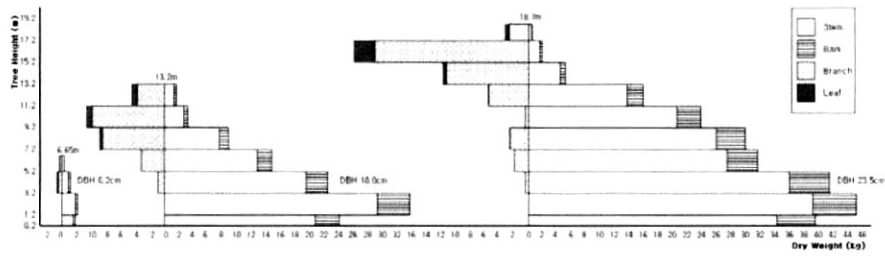
벌채한 표본목에서 유도된 상대생장식을 Table 4에 정리하였다. Table 4를 보면, 월악산과 중왕산의 신갈나무는 조금씩 다른 상대생장계수를 보이고 있다. 흉고직경과 수고가 커짐에 따른 수간부의 바이오매스는 중왕산 남사면의 신갈나무가 가장 크고, 중왕산 북사면의 신갈나무가 그 다음, 월악산의 신갈나무가 가장 적게 나타났다. 한편, 흉고직경과 수고의 증가에 따른 가지의 바이오매스는 중왕산 북사면, 중왕산 남사면, 월악산 북사면의 순이며, 잎 바이오매스는 월악산 북사면, 중왕산 북사면, 중왕산 남사면

Table 3. Soil characteristics of the *Quercus mongolica* stands in study sites.

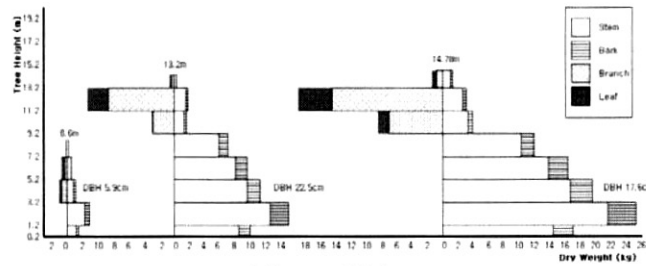
Site	Soil oisture (%)	pH (1:5 H ₂ O)	pH (1:5 CaCl ₂)	Organic matter (%)	Soil texture (USDA)
J-a	37.3	4.6	4.0	7.6	SCL
J-b	43.8	4.5	4.2	11.9	SCL
J-c	43.1	4.3	3.9	13.1	SCL
J-d	29.3	5.0	4.2	10.6	SCL
J-e	30.0	4.6	4.0	8.4	CL
J-f	28.7	4.6	4.0	10.2	SCL
W-a	26.0	5.7	4.8	2.6	SL
W-b	38.2	4.5	4.1	4.8	SCL
W-c	36.1	4.5	4.2	5.6	SCL



(a) Mt. Joongwang (northern aspect)



(b) Mt. Joongwang (southern aspect)



(c) Mt. Wolak

Figure 1. Vertical biomass distribution for each organ of dominant, intermediate, and suppressed trees in *Q. mongolica* stands.

Table 4. Regression coefficients and R² when aboveground biomass of *Q. mongolica* was regressed on D²H ($\log Y = A + B \log X$; Y, dry weight(g) of biomass; X, DBH(cm)² × height(m).

Parameter (Y)	A	B	R ²	Prob. level
Mt. Joongwang (1,000 m, Northern aspect)				
Stem wood	1.3912	0.9758	0.99	<0.001
Stem bark	0.8843	0.8702	0.99	<0.001
Live branches	-0.8900	1.4415	0.94	<0.001
Leaves	0.2714	0.8636	0.98	<0.001
Mt. Joongwang (1,000 m, Southern aspect)				
Stem wood	1.1965	1.0276	0.99	<0.001
Stem bark	0.5048	0.9985	0.99	<0.001
Live branches	0.1690	1.1449	0.97	<0.001
Leaves	0.4140	0.7927	0.98	<0.001
Mt. Wolak (300 m, Northern aspect)				
Stem wood	1.5307	0.9198	0.93	<0.001
Stem bark	1.4998	0.7187	0.93	<0.001
Live branches	0.6542	0.9964	0.96	<0.001
Leaves	0.3293	0.9469	0.98	<0.001

의 신갈나무 순이었다.

이렇게 지역에 따라 상이한 결과가 나타난 이유는 두 지역의 해발고도가 크게 차이가 나고(월악산 300 m, 중왕산 1,000m) 임령이 다르기 때문(월악산 35년, 중왕산 60-70

년)인 것으로 생각된다. 중왕산의 신갈나무림을 사면별로 비교해봤을 때, 앞은 임목의 크기가 커짐에 따라 남사면 보다 북사면에서 더 많이 달리는 경향을 보이고 있다.

손 등(2002)은 경기도 광주지방 25년생 신갈나무의 D²H~Ws, D²H~Wb, D²H~WI 사이의 상대생장계수를 각각 0.97, 1.42, 1.19로 보고하였으며, 이와 박(1987)은 경기도 광주 22년생 신갈나무림의 상대생장계수가 각각 0.90, 1.14, 0.98인 것으로 발표하였다. 본 연구결과와 비교했을 때 월악산 지역은 대체적으로 상기 연구 결과와 유사한 경향을 나타내고 있지만, 중왕산 지역의 경우 남, 북사면 수간부의 기울기가 1.03, 0.98로서 다소 급한 편이다. 이러한 결과가 나온 것은 본 연구에서 정밀 조사를 위해 수간부의 재부와 수피를 분리하여 측정했기 때문인 점도 있겠으나, 이 임분의 신갈나무가 대체적으로 대경목이기 때문으로 생각된다.

Murayama 등(1953)은 적송임분이 17-18년, Ovington (1957)은 *Pinus sylvestris* 임분이 20년 전후에서 최고엽량에 도달한다고 보고하였는데, 본 연구에서는 모든 지역에서 앞보다 가지의 기울기가 더 급하게 나왔다(Table 7). 이것은 D²H의 증가에 따라 앞의 증가가 다른 목질부의 증가를 따르지 못하고 있다는 의미로서 35년 이전에 이미 숲의 최대엽량을 보이는 시기가 지났음을 의미한다.

Table 5. The tree biomass (ton/ha) of *Q. mongolica* stands in the study sites.

Site	Stemwood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Joongwang (Northern aspect)	137.50 (54.37)	16.32 (6.45)	54.28 (21.46)	4.07 (1.61)	212.18 (83.89)	40.73 (16.11)	252.91 (100.00)
Mt. Joongwang (Southern aspect)	122.05 (57.49)	18.98 (8.94)	33.99 (16.01)	2.35 (1.11)	177.37 (83.55)	34.93 (16.45)	212.30 (100.00)
Mt. Wolak	104.25 (52.46)	18.54 (9.33)	26.36 (13.26)	8.14 (4.10)	157.29 (79.16)	41.42 (20.84)	198.71 (100.00)

Table 6. Annual net production (ton/ha/yr) of *Q. mongolica* stands in the study sites.

Site	Stemwood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Mt. Joongwang (Northern aspect)	6.47 (37.35)	0.69 (3.98)	3.29 (19.00)	4.07 (23.52)	14.52 (83.86)	2.80 (16.14)	17.32 (100.00)
Mt. Joongwang (Southern aspect)	6.59 (46.31)	1.00 (7.06)	1.95 (13.67)	2.35 (16.50)	11.89 (83.54)	2.34 (16.46)	14.23 (100.00)
Mt. Wolak	6.09 (28.78)	0.92 (4.35)	1.60 (7.57)	8.14 (38.46)	16.76 (79.16)	4.41 (20.84)	21.17 (100.00)

Table 7. Leaf biomass and leaf area of *Q. mongolica* sample trees.

Sites	No. of sample leaves	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	leaf area (cm ²)
Mt. Joongwang (Northern aspect)	362	298	122	17,241
Mt. Joongwang (Southern aspect)	391	357	128	21,589
Mt. Wolak	400	482	181	24,903

상대생장식을 가지고 중왕산 해발 1000 m 지역의 바이오매스를 추정하면 Table 8과 같이 북사면은 252.9 ton/ha, 남사면은 212.3 ton/ha로 나타났다. 중왕산 북사면 60년생 신갈나무림의 기관별 건중량 비율은 줄기 54%, 수피 6%, 가지 21%, 잎 2%, 뿌리 16%이고, 남사면 70년생 신갈나무림은 줄기 57%, 수피 9%, 가지 16%, 잎 1%, 뿌리 16%로 나타났다. 또한 Table 9에서 중왕산 신갈나무림의 연간 순생산량은 북사면에서 줄기 6.5 ton/ha/yr, 수피 0.7 ton/ha/yr, 가지 3.3ton/ha/yr, 잎 4.1 ton/ha/yr, 뿌리 2.8 ton/ha/yr, 전체 17.3 ton/ha/yr으로 추정되었으며, 남사면에서 줄기 6.6 ton/ha/yr, 수피 1.0 ton/ha/yr, 가지 2.0 ton/ha/yr, 잎 2.4 ton/ha/yr, 뿌리 2.3 ton/ha/yr, 전체 14.2 ton/ha/yr으로 추정되었다.

Table 5에서 월악산 북사면 지역 35년생 신갈나무림의 ha당 바이오매스(건중)는 총 198.7 ton/ha으로 추정되었으며, 전체에 대한 각 기관의 비율은 줄기 52%, 수피 9%, 가지 13%, 잎 4%, 뿌리 21%로 나타났다. 또한 Table 6과 같이 이 지역 임분의 연간 순생산량은 줄기 6.1 ton/ha/yr, 수피 0.9 ton/ha/yr, 가지 1.6 ton/ha/yr, 잎 8.1 ton/ha/yr, 뿌리 4.4 ton/ha/yr으로서 전체 연간 순생산량은 21.2 ton/ha/yr로 추정되었다.

본 연구에서 월악산과 중왕산의 바이오매스 총량을 다

른 연구와 비교하면, 박인협 등((2003)이 연구한 강원도 춘천지방의 50년생 신갈나무림(지상부 438 ton/ha, 전체 495.07 ton/ha)보다는 적지만, 충북 지역의 67년생 신갈나무림 125.8 ton/ha(송철영과 이수욱, 1996), 충북 충주지역의 신갈나무림 130.58 ton/ha(송철영 등, 1997) 등에 비해서는 높게 나타났다. 또한 손석용 등(2002)은 경기 태화산 지역에서 30년생 신갈나무림의 줄기 건중 51.3 ton/ha, 가지 건중 13.1 ton/ha, 잎 건중 3.5 ton/ha로서 지상부 건중량이 67.9 ton/ha이라고 하였다.

본 연구 결과 각 부위별 현존량에서 다른 연구들보다 대부분 더 높은 값을 보이고 있는데, 그 이유로는 조사지내에 흉고직경급이 큰 나무들이 많았기 때문이다. 영국의 Waters와 Christie(1958)그리고 독일의 Schwappach(1912)는 *Quercus robur*에 대한 바이오매스 조사에서 개체목이 클수록 바이오매스가 현격히 증가한다고 보고한 바 있다. 한편, Ovington(1962)은 42년생의 *Quercus*속이 러시아에서 169.8 ton/ha이며, 온대지방 참나무속의 평균치는 174.6 ton/ha라고 하였고, Burgess(1981)는 온대활엽수림의 평균치가 173.52±22.35 ton/ha라고 하였는데, 월악산 지역보다는 높고 중왕산 북사면 지역보다는 낮지만 대체적으로 유사한 결과를 보이고 있다.

중왕산 지역에서 전체 바이오매스는 북사면이 남사면

Table 8. The production efficiency of leaf of *Q. mongolica* stands.

Sites	Mt. Joongwang (Northern aspect)	Mt. Joongwang (Southern aspect)	Mt. Wolak
Leaf biomass (ton/ha)	4.07	2.35	8.14
Total production (ton/ha/yr)	17.32	14.23	21.17
Net assimilation rate (kg/kg/yr)	4.26	6.06	2.60

보다 더 많은 것으로 나타났으며, 연간 순생산량 역시 북사면이 남사면보다 더 많은 것으로 추정되었다. 이것은 광합성에 중요한 역할을 하는 잎과 가지의 중량이 북사면에서 남사면보다 더 큰 비중을 차지하고 토양 수분 등의 생육환경도 더 유리하기 때문인 것으로 판단된다.

월악산 지역과 비교해서 중왕산 지역에서 특히 잎의 바이오매스가 크게 적는데, 해발고가 높을수록 그리고 임분이 성숙되어 갈수록 전체 바이오매스에서 잎이 차지하는 비중이 줄어들고 있었다. 이러한 결과는 엽면적지수에서도 같은 경향을 보이고 있는데, Table 7에서 신갈나무 잎의 건중량과 엽면적의 비를 각 조사구에 대입하면, 신갈나무림의 엽면적지수는 중왕산 북사면 5.77, 중왕산 남사면 3.97, 월악산 11.17으로서 임령이 비교적 어린 월악산 지역이 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 중왕산 북사면 지역이 남사면 지역보다 큰 것으로 나타났다. Han 등 (1982)은 35년생 잣나무 임분에서 잎의 바이오매스가 가장 많고 그보다 임령이 많은 잣나무 임분에서 잎의 바이오매스가 감소한다고 보고하였는데, 신갈나무 임분도 35년생 이상에서는 잎의 바이오매스가 줄어드는 것으로 판단된다.

한편, Table 8에서 신갈나무림에서 잎의 순동화율(net assimilation rate; NAR)은 중왕산 해발 1000 m 북사면 지역 4.26 kg/kg/yr, 남사면 지역 6.06 kg/kg/yr, 월악산 지역 2.60 kg/kg/yr으로 나타나, 중왕산 남사면 지역이 가장 높고 월악산 지역이 가장 낮았다. 이경재와 박인협(1987)은 경기도 광주지방 22년생 신갈나무림 잎의 순동화율이 3.42 kg/kg/yr라고 하였고, 김태욱 등(1982)은 오동나무림이 4.72 kg/kg/yr, 김갑덕 등(1985)은 아까시나무림이 2.50~4.13 kg/kg/yr라고 하였는데, 이들 수종에 비하여 월악산 지역 신갈나무림 잎의 생산효율이 낮은 반면, 중왕산 지역은 높은 것으로 나타났다.

결 론

강원 중왕산 해발 1000 m 지역에 있는 60~70년생 신갈나무림의 바이오매스는 북사면 252.6 ton/ha, 남사면 212.3 ton/ha이며, 연간 순생산량은 북사면 17.3 ton/ha/yr, 남사면 14.2 ton/ha/yr로 추정되었다. 한편 충북 월악산 지역에서 해발 300 m 북사면의 35년생 신갈나무림은 바이오매

스 198.8 ton/ha, 연간 순생산량 21.2 ton/ha/yr로 추정되었다. 월악산 지역에서 중왕산 지역보다 연간 순생산량이 더 높게 나타난 이유는 높은 임분밀도와 엽면에 기인한 것으로 생각된다. 중왕산 지역에서 북사면이 남사면보다 더 많은 것으로 나타났으며, 연간 순생산량 역시 북사면이 남사면보다 더 많은 것으로 추정되었는데, 광합성에 중요한 역할을 하는 잎과 가지의 중량이 북사면에서 남사면보다 더 큰 비중을 차지하고 엽면적지수도 북사면(5.77)이 남사면(3.97)보다 더 크기 때문으로 판단된다. 따라서 신갈나무가 자라는데는 사면에 따른 광조건 외에도 토양 수분이나 기타 환경조건이 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 월악산 35년생 신갈나무림은 중왕산 지역보다 잎의 비중이 월등히 높으며 엽면적지수도 11.17로 가장 크게 나타났다. 그러나 잎의 순동화율은 중왕산 해발 1000 m 북사면 지역 4.26 kg/kg/yr, 남사면 지역 6.06 kg/kg/yr, 월악산 지역 2.60 kg/kg/yr으로 나타나, 중왕산 남사면 지역이 가장 높고 월악산 지역이 가장 낮아 중왕산 지역에서 잎의 생산효율이 더 좋은 것으로 나타났다.

인용문헌

- 권기철. 2006. 신갈나무림의 바이오매스, 탄소 고정량 및 에너지 고정 효율 -위도, 해발고, 사면을 중심으로. 서울대학교 농학박사학위논문. 126pp.
- 김갑덕, 김태욱, 이경재, 김준선. 1985. 아까시나무조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지 69: 60-68.
- 김정연, 길봉섭. 2000. 한국의 신갈나무 숲. 원광대학교출판국. 511pp.
- 김태욱, 이경재, 박인협. 1982. 환경오염이 오동나무 인공림의 물질생산에 미치는 영향에 관한 연구. 한국임학회지 58: 8-16.
- 대한민국 농림부. 1971. 농림통계연보. 507pp.
- 박관수. 1999. 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 지상부 및 토양 중 탄소 고정에 관한 연구. 한국임학회지 88(1): 93-100.
- 박관수. 2003. 광양, 평창, 영동 지역 신갈나무 임분의 현존생물량 및 순생산량. 한국임학회지 92(6): 567-574.
- 박인협, 서영권, 김동업, 손요환, 이명종, 진현오. 2003. 강원도 춘천지역 신갈나무 임분과 굴참나무 임분의 물질생산. 한국임학회지 92(1): 52-57.
- 손석용, 권기철, 정택상. 2002. 경기도 광주시 태화산 신갈나무림의 생산구조와 생산성. 임산에너지 21(1): 76-82.

10. 송철영, 이수욱. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산성에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 443-452.
11. 송철영, 장관순, 박관수, 이승우. 1997. 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소 고정량 분석. 한국임학회지 86(1): 35-45.
12. 이경재, 박인협. 1987. 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산량과 무기영양물분포. 임산에너지 7(1): 11-21.
13. 이돈구, 김지홍, 조재창, 차동호. 1990. 참나무자원의 종합이용 개발에 관한 연구(III)-제2장 생태연구 편. 과학기술처. 449pp.
14. 中井猛之進. 1976. 朝鮮森林植物編. 國書刊行會. 1(3): 25.
15. 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.
16. Kim, J.W. 1992. Vegetation of Northeast Asia -On the syntaxonomy and syengeography of the oak and beech forests. Ph.D. thesis, Univ. of Wien, Austria. 314pp.
17. Kim, J.W and Yuri I. Manyko. 1994. Syntaxonomical and synchorological characteristics of the cool-temperate mixed forest in the southern Sikhote Alin, Russian Far East. Korean J. Ecol. 17(4): 391-413.
18. Han, S.S., S.H. Kim and J.W. Yun. 1982. Studies on the productivity of korean white pine forest (II)-Structure and annual increment of primary production in plantation. Res. Bull. Exp. For., Kangweon Nat. Univ. 2: 27-33.
19. Murayama, I. and T. Satoo. 1953. Estimation of amount of foliage of tree and stand. I. Bull. Gov. For. Exp. Sta. Tokyo 65: 1-10.
20. Ovington, J.D. 1957. Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. N.S. 21: 287-314.
21. Ovington, J.D. 1962. Quantitative Ecology and the Woodland Ecosystem Concept. Pages 103-192 in J.B. Cragg(ed). Advances in Ecological Research vol.1. Academic Press.
22. Schwappach, A. 1912. Ertragstafeln der Wichtigeren Holzarten, Neudamn. 83pp.
23. Suganuma, H., Y. Abe, M. Taniguchi, H. Tanouchi, H. Utsugi, T. Kojima, and K. Yamada. 2006. Stand biomass estimation method by canopy coverage for application to remote sensing in an arid area of Western Australia. For. Ecol. Manage. 222: 75-87.
24. U.S. Department of Energy. 1986. The National Energy Policy Plan Projections to 2010 (NEPP-5). DOE/PE-0029/3. U.S. Gov. Print. Off.
25. Waters, W.T. and J.M. Christie. 1958. Provisional yield tables for oak and beech in Great Britain. For. Rec. 36, 31pp.

(2006년 2월 20일 접수; 2006년 4월 5일 채택)