

해발고와 사면에 따른 중왕산 지역 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량

권기철^{1*} · 이돈구²

¹국립산림과학원, ²서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부

Biomass and Annual Net Production of *Quercus mongolica* Stands in Mt. Joongwang with Respect to Altitude and Aspect

Ki-Cheol Kwon^{1*} and Don Koo Lee²

¹Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

요약: 본 연구는 해발고와 사면에 따른 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량을 구명하기 위해 강원 평창 중왕산 지역을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 중왕산 지역 60-70년생 신갈나무림의 바이오매스 현존량은 해발 1,300m에서 북사면 211.6 ton/ha, 남사면 200.3 ton/ha, 해발 1,000m에서 북사면 252.9 ton/ha, 남사면 212.3 ton/ha, 해발 800m에서 북사면 256.7 ton/ha, 남사면 232.4 ton/ha로서 해발고가 낮아질수록 바이오매스가 증가하였으며, 북사면이 남사면보다 바이오매스가 더 많았다. 또한 연간 순생산량은 해발 1,300m에서 북사면 12.7 ton/ha/yr, 남사면 14.0 ton/ha/yr, 해발 1,000m에서 북사면 17.3 ton/ha/yr, 남사면 14.2 ton/ha/yr, 해발 800m에서 북사면 14.5 ton/ha/yr, 남사면 14.6 ton/ha/yr로서 남사면에서는 해발고가 낮아짐에 따라 증가하는 반면 북사면에서는 해발 800m 부위보다 해발 1,000m 부위에서 더 높은 것으로 나타났다. 해발고에 따른 신갈나무림의 연간 순생산량을 비교하면 5% 유의수준에서 차이가 있는 것으로 나타났으나, 사면에 따른 차이는 나타나지 않았다.

Abstract: This study was conducted to compare the biomass and annual net production between 60 to 70-year-old *Quercus mongolica* stand at 1,300m, 1,000m, and 800m from sea level in Mt. Joongwang. The total biomass and annual net production were 211.6 ton/ha and 12.7 ton/ha/yr in northern aspect and 200.3 ton/ha and 14.0 ton/ha/yr in southern aspect of 1,300m from sea level, 252.9 ton/ha and 17.3 ton/ha/yr in northern aspect and 212.2 ton/ha and 14.2 ton/ha/yr in southern aspect of 1,000m from sea level, and 256.7 ton/ha and 14.5 ton/ha/yr in northern aspect and 232.4 ton/ha and 14.6 ton/ha/yr in southern aspect of 800m from sea level. The obtained results showed significant differences in annual net production among the study stands with respect to altitude, while did not those with respect to aspect.

Key words : *Quercus mongolica*, biomass, annual net production, altitude, aspect, net assimilation rate (NAR)

서론

18세기 산업혁명 이후 급속한 문명의 발달로 인해 지구 자원의 이용이 비약적으로 늘어났으며, 특히 오늘날 인간 사회를 움직이는 에너지 자원인 석유의 고갈이 점차 현실화되고 있다. 1970년대에 일어난 석유의 파동은 우리에게 대체 에너지 자원의 개발에 대한 필요성을 일깨웠고, 이에 대한 대응으로 산림의 바이오매스 자원에 대한 연구가

활발하게 이루어졌다. 그러나 이후 석유 파동이 진정되면서 바이오매스에 대한 연구는 투입되는 많은 노동력과 시간으로 인해 사양길에 접어들었다가 1990년대 말에 이르러 온실가스 흡수 기능 및 대체 에너지원 개발 등 여러 사회적 요구에 의해 다시 활발하게 진행되고 있다.

식물의 바이오매스는 안정된 형태로 비축할 수 있고 필요에 따라 언제든지 에너지로 변환할 수 있으며 재생산이 가능하다는 장점이 있으나, 반면에 에너지 수준이 낮고 자원의 분포가 작고 대면적을 필요로 하는 단점이 있다(오정수와 홍성각, 1989). 전국토의 65%가 산림인 우리나라에서는 이미 대량의 식물 바이오매스가 비축된 상태지만, 국내의 목재 자급율은 10%에도 못미치는 상황에서 목재

*Corresponding author

E-mail: kkch30@yahoo.co.kr

본 논문은 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의한 연구결과의 일부임

의 수요는 계속 증가하고 있는 추세이다(산림청, 2005).

특히, 신갈나무는 우리나라의 활엽수림대에서 가장 넓은 분포를 보이고 있는 대표적인 활엽수종으로서, 참나무류가 차지하고 있는 임목 축적량이 전체 산림에서 차지하는 비율은 계속 증가하는 추세이다(이돈구 등, 1990). 따라서 우리나라의 활엽수 중에서 가장 넓은 분포 면적과 가장 많은 축적량을 가지고 있는 신갈나무림의 생산력을 정확히 파악하고 그것을 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 본 연구의 목적은 강원도 평창군 중왕산 해발 800m부터 1,300m 사이의 지역에서 해발고도와 사면에 따른 60~70년생 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량 및 순동화율의 차이를 비교하는 것이다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 강원 평창 중왕산 지역을 대상으로 해발고, 사면, 지형 등을 고려하여 신갈나무림이 우점하고 있는 지역으로 선정하였으며, 동경 128° 30'~128° 33', 북위 37° 27'~37° 30'에 위치하고 있다. 조사구는 Table 1과 같이 해발고 1,300m, 1,000m, 800m 부근의 남사면과 북사면 각각에서 3개씩, 총 18개의 방형구(20m×20m)를 설치하였다.

최근 3년간 해발고 1,050m~1,200m 사이의 중왕산 지역 내에 설치된 3대의 무인기상관측장치의 기상 자료를 보

면, 연평균 기온 7.1°C, 연평균 최고온도 17.6°C, 연평균 최저온도 -3.7°C, 연평균 강수량 1,900 mm이다.

해발 1,300m 부위는 북동사면과 남동사면에서 조사하였으며, 능선부 또는 사면 상부에 조사구가 분포되어 있다. 상층목의 평균 임령은 남·북사면 모두 약 70년 정도이고, 흉고직경 4 cm 이상인 임목의 밀도는 남사면 신갈나무림이 북사면보다 더 적었다. 해발 1,000m 부위에서는 정북~북동 사면과 정남~남동 사면에서 조사하였으며, 사면 중부에 조사구를 설정하였다. 해발 800m 부위는 북서사면과 남동사면에서 조사하였다. 북사면의 신갈나무림은 국소지형이 많아 능선부에서 사면을 거쳐 계곡부에 이르기까지 조사구를 설정하였으며, 남사면의 신갈나무림은 사면 중부와 능선부에 조사구를 설정하였다(Table 1).

2. 임분 및 바이오매스 조사

중왕산 신갈나무림의 바이오매스 조사를 위해서 각 지역별로 신갈나무림에 20m×20m 크기의 방형구를 3곳씩 설치하여 흉고직경과 수고 등 매목조사를 하였고, 각 지역에서 흉고직경이 4-35 cm인 임목을 직경급별로 5-7본을 별채하여 지상부에서 2m 간격으로 줄기(수피, 목질부), 가지, 잎의 중량을 측정하였다(Table 2). 또한 표본 일부를 운반하여 실험실에서 건조기로 80°C 이상에서 항중량에 이를 때까지 건조시킨 후 건조량지수를 산출하여 전체 건조중량을 계산하였다. 그 외 해발고도와 사면별로 1~2본씩 총

Table 1. The characteristics of the study sites.

Plot no.	Altitude (m)	Topography*	Aspect (°)	Slope (°)	Mean age (yr.)	SV** (%)	No/ha	No. of sample trees***	Sub-major species****
J-01	1,275	US	NE70	19	70	75.9	1,725	-	PD, APM
J-02	1,300	US	NE10	25	70	90.7	1,375	7	-
J-03	1,275	R	NE50	18	70	83.4	1,225	-	MA
J-04	1,300	US	SE45	15	70	94.5	1,250	6	-
J-05	1,275	R	SE58	22	70	71.8	1,300	-	UD, APM
J-06	1,250	US	SE20	35	70	80.2	1,450	-	APM
J-07	1,000	MS	NE8	23	60	89.7	1,600	7	-
J-08	1,000	MS	NE42	25	60	98.4	1,250	-	KS
J-09	950	MS	NE54	25	60	91.3	1,075	-	TA, APM
J-10	1,000	MS	SE15	27	70	93.2	1,250	6	-
J-11	1,000	MS	SE40	20	70	89.7	1,175	-	FR
J-12	1,050	MS	SE20	25	70	91.4	1,100	-	FR
J-13	770	R	NW30	5	60	82.4	1,275	6	FR
J-14	780	V	NE35	30	60	75.6	1,575	-	APM, FR
J-15	825	LS	NW25	27	60	72.3	1,750	-	MA, FR
J-16	800	MS	SE60	25	60	88.5	1,200	5	PDS
J-17	825	MS	SE80	23	60	87.4	1,275	-	PDS, MA
J-18	890	R	SE85	25	60	86.8	1,325	-	FR

*Topography : R; Ridge, US; Upper slope, MS; Middle slope, LS; Lower slope, V; Valley, UV; Upper valley

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

***Sample trees collected for investigating biomass

****Sub-major species : APM; *Acer pictum* subsp. *mono*, FR; *Fraxinus rhynchophylla*, KS; *Kalopanax septemlobus*, MA; *Maackia amurensis*, PD; *Populus davidiana*, PDS; *Pinus densiflora*, TA; *Tilia amurensis*, UD; *Ulmus davidiana*

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

DBH (cm)	Height (m)	Age	DBH (cm)	Height (m)	Age	DBH (cm)	Height (m)	Age
Alt.1300m, Northern aspect			Alt.1300m, Southern aspect			Alt.1000m, Northern aspect		
8.5	7.40	48	7.9	6.80	39	6.4	6.90	22
12.1	10.29	52	9.5	7.20	43	9.4	10.45	50
13.5	11.40	60	16.0	11.50	49	13.5	15.20	54
17.3	12.70	57	18.4	12.95	57	16.1	15.60	55
22.0	17.50	73	24.5	14.27	69	22.5	16.48	57
28.8	15.00	70	32.0	15.70	72	26.5	18.10	64
34.5	16.30	79				34.0	18.40	60
Alt.1000m, Southern aspect			Alt.800m, Northern aspect			Alt.800m, Southern aspect		
6.2	6.65	18	8.1	9.85	27	7.4	6.70	21
14.2	13.40	52	10.5	11.80	31	12.0	12.70	27
18.0	13.20	70	14.6	15.40	49	14.8	14.50	39
20.4	17.80	66	16.5	16.80	52	16.5	15.90	49
23.5	18.70	73	22.1	18.40	58	24.0	17.20	52
27.0	18.90	71	33.0	18.90	61	(30.5)*	(-)	(60)

*The value in parenthesis exclude calculating biomass estimation

9본의 신갈나무를 굴취하여 지하부(뿌리)의 바이오매스를 측정하였다.

바이오매스 현존량의 추정은 D^2H 와 W_s (줄기 건중), W_{bk} (수피 건중), W_b (가지 건중), W_l (잎 건중), W_r (뿌리 건중)과의 관계를 상대생장식으로 유도해 계산했다. 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. 그리고 각 표본목당 흉고부위에서 변재부 2개, 심재부 2개씩 목편을 절삭하여 부피와 건중량을 측정하여 변재부와 심재부의 현존량과 연간 순생산량을 추정하였다.

3. 입분 환경 조사

환경 조건으로는 조사구의 방위, 해발고, 경사도, 지형, 토양 특성 등을 조사하였다. 토양 시료는 조사구마다 3곳에서 A층 토양을 균등 채취하였다. 토성은 비중계법을 이용하였고, 토양 내 유기물 함량(OM)은 건조된 토양을 600°C에서 6시간 동안 유기물을 태운 후 감소한 무게의 차이로 측정하였다. 토양 pH 측정은 토양 시료와 증류수를 각각 1:5의 비율로 섞어 pH meter(HANNA Instrument Inc.)로 측정하였다. 전질소함량(TN)은 Kjeldahl 방법으로 분석하였다(Table 3).

중왕산 신갈나무림 지역은 전체적으로 사질식양토이며, 토양 pH가 5.0 내외로 나타났다. 북사면 지역이 남사면 지역에 비해 토양 pH가 낮지만, 토양수분이 더 많고 전질소함량과 유기물함량이 높게 나타나 식물생육에 북사면 지역의 토양 환경이 좀 더 유리한 것으로 보인다.

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

Site	Moisture (%)	pH (1:5 H ₂ O)	OM (%)	TN (%)	Soil texture
Alt.1,300m, N	40.07	4.76	10.60	0.57	SCL
Alt.1,300m, S	35.82	4.67	14.00	0.47	SCL, SL
Alt.1,000m, N	41.41	4.43	10.87	0.43	SCL
Alt.1,000m, S	29.33	4.72	9.73	0.40	SCL, CL
Alt.800m, N	32.83	4.37	11.20	0.37	SCL
Alt.800m, S	33.27	4.78	8.40	0.17	SL, L

결과 및 고찰

1. 신갈나무림의 바이오매스 현존량

신갈나무의 표본목 측정치로 유도한 각 부위별 상대생장식을 Table 4에 정리하였으며, 지하부(뿌리)의 추정을 위한 상대생장식은 $\log W_r = 1.526 + 0.808 \log D^2H$ ($R^2 = 0.97$)로 유도되었다. 흉고직경과 수고의 증가에 따라 북사면에서 남사면보다 잎이 더 많이 달리는 것으로 나타났으며 가지도 더 큰 비중을 차지하는 것으로 나타난 반면, 수간부는 남사면에서 더 많은 것으로 나타났다.

해발고에 따른 신갈나무림의 바이오매스의 차이를 알아보기 위해 중왕산 지역 해발고 1,300m, 1,000m, 800m에 있는 신갈나무림의 바이오매스 현존량을 Table 5에 비교하였다. 중왕산 지역 신갈나무림의 바이오매스 현존량은 해발 1,300m에서 북사면 211.6 ton/ha(지상부 176.0 ton/ha), 남사면 200.3 ton/ha(지상부 168.0 ton/ha), 해발 1,000m에서 북사면 252.9 ton/ha(지상부 212.2 ton/ha), 남사면 212.3 ton/ha(지상부 177.4 ton/ha), 해발 800m에서 북사면 256.7 ton/ha(지상부 213.3 ton/ha), 남사면 232.4

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	A	B	R ²	Prob. level
	Alt. 1,300m, Northern aspect				Alt. 1,300m, Southern aspect			
Stem wood	5.600	1.002	0.99	< 0.001	5.397	1.045	0.98	< 0.001
Sapwood	5.572	0.897	0.93	< 0.001	5.335	0.973	0.94	< 0.001
Heartwood	4.988	1.106	0.97	< 0.001	4.928	1.092	0.98	< 0.001
Stem bark	5.017	0.916	0.98	< 0.001	5.176	0.872	0.99	< 0.001
Live branches	3.948	1.305	0.90	< 0.001	4.328	1.220	0.97	< 0.001
Leaves	4.532	0.870	0.96	< 0.001	4.662	0.834	0.97	< 0.001
	Alt. 1,000m, Northern aspect				Alt. 1,000m, Southern aspect			
Stem wood	5.691	0.974	0.99	< 0.001	5.464	1.034	0.99	< 0.001
Sapwood	5.567	0.926	0.98	< 0.001	5.744	0.847	0.96	< 0.001
Heartwood	5.166	1.034	0.99	< 0.001	4.657	1.190	0.99	< 0.001
Stem bark	5.205	0.864	0.99	< 0.001	4.778	1.005	0.99	< 0.001
Live branches	3.382	1.449	0.93	< 0.001	4.430	1.155	0.97	< 0.001
Leaves	4.577	0.864	0.99	< 0.001	4.738	0.791	0.98	< 0.001
	Alt. 800m, Northern aspect				Alt. 800m, Southern aspect			
Stem wood	5.765	0.949	0.99	< 0.001	5.522	1.035	0.99	< 0.001
Sapwood	5.534	0.941	0.99	< 0.001	5.371	0.976	0.99	< 0.001
Heartwood	5.393	0.954	0.94	< 0.001	5.118	1.076	0.96	0.002
Stem bark	5.311	0.834	0.99	< 0.001	5.328	0.856	0.98	< 0.001
Live branches	3.458	1.443	0.96	< 0.001	3.840	1.282	0.90	0.008
Leaves	3.262	1.201	0.92	0.001	4.309	0.908	0.99	< 0.001

Table 5. The tree biomass (ton/ha) of *Q. mongolica* stands in Mt. Joongwang.

Site	Stem-wood	Sap-wood	Heart-wood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Alt.1,300m, Northern aspect	118.8 (56.1)*	44.7 (21.1)	74.1 (35.0)	13.8 (6.5)	40.4 (19.1)	3.06 (1.4)	176.0 (83.2)	35.6 (16.8)	211.6 (100.0)
Alt.1,300m, Southern aspect	105.6 (52.7)	46.1 (23.5)	57.2 (29.2)	11.6 (5.8)	48.2 (24.1)	2.6 (1.3)	168.0 (83.9)	32.3 (16.1)	200.3 (100.0)
Alt.1,000m, Northern aspect	137.5 (54.4)	65.8 (26.0)	71.7 (28.4)	16.3 (6.4)	54.3 (21.5)	4.1 (1.6)	212.2 (83.9)	40.7 (16.1)	252.9 (100.0)
Alt.1,000m, Southern aspect	122.0 (57.5)	41.1 (19.4)	81.0 (38.1)	19.0 (8.9)	34.0 (16.0)	2.3 (1.1)	177.4 (83.5)	34.9 (16.5)	212.3 (100.0)
Alt.800m, Northern aspect	132.2 (51.5)	73.3 (28.5)	58.9 (23.0)	16.8 (6.6)	61.4 (23.9)	2.8 (1.1)	213.3 (83.1)	43.4 (16.9)	256.7 (100.0)
Alt.800m, Southern aspect	145.1 (62.5)	60.6 (26.1)	84.5 (36.4)	18.4 (7.9)	28.8 (12.4)	2.7 (1.1)	195.0 (83.9)	37.4 (16.1)	232.4 (100.0)

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

ton/ha(지상부 195.0 ton/ha)로서 해발고가 낮아질수록 바이오매스가 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 북사면이 남사면보다 임분 바이오매스가 더 많은 것으로 나타났는데, 광합성에 중요한 역할을 하는 잎의 중량이 북사면에서 남사면보다 더 큰 비중을 차지하고 토양 수분 등의 생육환경도 더 유리하기 때문인 것으로 보인다. 이러한 결과는 북사면의 식생이 남사면보다 다양하고 생산성도 높으며 주로 토양 수분 함량과 식물체의 증산작용에 기인한다는 여러 연구들(Minckler, 1961; Finney 등, 1962; 박봉규과 이현

순, 1981; 박은숙, 1987; Brunori *et al.* 1995; 권기철, 1998)과 일치한다.

본 연구지의 바이오매스 현존량을 다른 연구와 비교하면, 박인협 등(2003)이 연구한 강원도 춘천 지방의 50년생 신갈나무림(지상부 438 ton/ha, 전체 495.07 ton/ha)보다는 적지만, 충북 충주 지역의 67년생 신갈나무림 지상부 125.8 ton/ha(송철영과 이수욱, 1996)에 비해서는 높게 나타났다. 한편, Ovington(1962)에 의하면 42년생 *Quercus* 속의 지상부 현존량이 러시아에서 약 169.8 ton/ha이라고

하였으며, Ovington (1965)은 온대지방 참나무속의 평균치를 174.6 ton/ha라고 하였다. 또한 Burgess(1981)는 온대 활엽수림의 평균치가 173.52 ton/ha라고 하였는데, 중왕산 지역은 이보다 더 높은 값을 보였다. 그 이유는 조사 지역의 임분이 장령림인데다 임분밀도가 비교적 높기 때문인 것으로 보인다.

지하부의 경우에는 전체적으로 약 16-17%의 중량비를 보이고 있는데, 이것은 강원도 춘천 지방 신갈나무림의 지하부 비율 11.5%(박인협 등, 2003)보다 크지만, Post oak와 Blackjack oak 혼효림에서 지하부 비율이 17.76%이었다는 연구 결과(Johnson과 Risser, 1974)와 유사하다. 박인협 등(2003)의 연구 결과보다 본 연구에서 지하부의 비중이 크게 나타난 이유로는 평균 흉고직경급에서 본 연구 조사지가 더 작기 때문으로 생각된다. 일반적으로 온대지방 산림 생태계에서 지하부의 중량은 지상부 중량의 약 20% 정도로 알려져 있는데(Rodin과 Bazilevich, 1967; Johnson과 Risser, 1974; Canadell 등, 1999; Laclau, 2003), 본 연구에서도 지상부 대비 지하부의 중량은 약 20% 내외로 나타났다.

2. 신갈나무림의 연간 순생산량

중왕산 지역 신갈나무림에서 해발고에 따른 연간 순생산량을 Table 6에 요약하였다. 중왕산 지역 연간 순생산량은 해발 1,300m에서 북사면 12.7 ton/ha/yr(지상부 10.5 ton/ha/yr), 남사면 14.0 ton/ha/yr(지상부 11.7 ton/ha/yr), 해발 1,000m에서 북사면 17.3 ton/ha/yr(지상부 14.5 ton/ha/yr), 남사면 14.2ton/ha/yr(지상부 11.9ton/ha/yr), 해발 800m에서 북사면 14.5 ton/ha/yr(지상부 12.0 ton/ha/yr), 남

사면 14.6 ton/ha/yr(지상부 12.3 ton/ha/yr)로서 남사면에서는 해발고가 낮아짐에 따라 증가한 반면 북사면에서는 해발 800m 부위보다 해발 1,000m 부위에서 더 높은 것으로 나타났다. 중왕산 지역에서 해발고별로 신갈나무의 재적생장을 비교한 연구(이돈구 등, 1995)에 따르면, 중왕산 지역은 해발 1,000~1,100m에서 신갈나무의 생장이 가장 좋은 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서도 중왕산 지역 해발 800m 신갈나무림이 건조한 능선부 또는 전석지로 된 계곡부에 있는데 비해 해발 1,000m 신갈나무림은 습윤하고 토심이 깊은 등 상대적으로 유리한 환경에 있어서 연간 순생산량이 더 높은 것으로 추정된다(Table 3).

신갈나무림의 연간 순생산량에 대한 다른 연구들과 비교하면, 박인협 등(2003)은 강원도 춘천 지방에서 50년생 21.85 ton/ha/yr(지상부 19.61 ton/ha/yr), 박관수(2003)는 평창 지역 52년생 10.31 ton/ha/yr, 영동 지역 35년생 11.36 ton/ha/yr, 광양 지역 42년생 5.79 ton/ha/yr라고 하였다. 그 외 박인협과 문광선(1994)은 전남 모후산 지역 지상부 11.1 ton/ha/yr, 이수옥과 박관화(1986)는 강원 홍천 지역의 36년생 12.72 ton/ha/yr로 보고하였다. 박인협 등(2003)이 보고한 강원도 춘천 지방 신갈나무림의 연간 순생산량과

Table 7. ANOVA for annual net production of *Q. mongolica* stands by altitude and aspect.

Source	df	Mean Squares	Pr > F
Altitude	2	8.98	0.012
Aspect	1	1.28	0.357
Altitude*Aspect	2	7.85	0.019
Residual	12	1.40	

Table 6. Annual net production (ton/ha/yr) of *Q. mongolica* stands in Mt. Joongwang.

Site	Stem-wood	Sap-wood	Heart-wood	Bark	Live branch	Leaf	Aboveground total	Root	Total
Alt.1,300m, Northern aspect	5.0 (39.5)*	1.8 (14.0)	3.2 (25.5)	0.6 (4.4)	1.9 (15.0)	3.1 (24.1)	10.5 (83.0)	2.2 (17.0)	12.7 (100.0)
Alt.1,300m, Southern aspect	5.7 (40.9)	2.5 (17.7)	3.2 (23.2)	0.6 (4.1)	2.8 (19.9)	2.6 (18.9)	11.7 (83.8)	2.3 (16.2)	14.0 (100.0)
Alt.1,000m, Northern aspect	6.5 (37.3)	2.9 (16.7)	3.6 (20.6)	0.7 (4.0)	3.3 (19.0)	4.1 (23.5)	14.5 (83.9)	2.8 (16.1)	17.3 (100.0)
Alt.1,000m, Southern aspect	6.6 (46.3)	1.9 (13.5)	4.7 (32.8)	1.0 (7.1)	1.9 (13.7)	2.3 (16.5)	11.9 (83.5)	2.3 (16.5)	14.2 (100.0)
Alt.800m, Northern aspect	5.7 (39.6)	3.2 (21.9)	2.6 (17.7)	0.7 (4.8)	2.8 (19.1)	2.8 (19.6)	12.0 (83.1)	2.4 (16.9)	14.5 (100.0)
Alt.800m, Southern aspect	7.2 (49.1)	2.9 (19.6)	4.3 (29.5)	0.8 (5.3)	1.7 (11.4)	2.7 (18.1)	12.3 (83.9)	2.3 (16.1)	14.6 (100.0)

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

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

Aspect	Northern aspect			Southern aspect		
	Altitude (m)	1,300	1,000	800	1,300	1,000
Leaf biomass (ton/ha)	3.1	4.1	2.8	2.6	2.3	2.7
Total production (ton/ha/yr)	12.7	17.3	14.5	14.0	14.2	14.6
Net assimilation rate	4.1	4.2	5.2	5.4	6.2	5.4

비교하면 비슷한 위도에 있는 중왕산 지역 신갈나무림이 다소 떨어지는 것으로 나타났는데, 중왕산 지역의 조사지들이 해발 800m 이상의 비교적 높은 곳에 위치하여 평균 온도가 더 낮고 토양도 전석지가 많았기 때문으로 생각된다. 반면 박관수(2003)가 연구한 해발 1,140m에 있는 평창 지역 신갈나무림과 비교하면 연간 순생산량이 비슷한 수준으로 나타났으며, 해발 940m에서 조사된 광양 지역 신갈나무림보다는 조금 높게 나타났다.

Whittaker(1966)는 온대활엽수림의 연간 순생산량이 유령림 9 ton/ha/yr 내외, 장령림 13~21 ton/ha/yr, 노령림 29~40 ton/ha/yr, 성숙림 41~52 ton/ha/yr라고 하였는데, 이상의 연구 결과들을 종합하면 중왕산 지역 신갈나무림의 연간 순생산량은 지상부는 10~15 ton/ha/yr로서 장령림 단계의 연간 순생산량 범위 안에 있었다.

한편, Table 6에서 연간 순생산량 전체에 대한 뿌리의 비율을 보면 대체적으로 16~17%인데, 자작나무, 너도밤나무, 아까시나무, 상록활엽수 및 침엽수류의 순생산량 전체에 대한 뿌리의 배분이 11~33%라고 한 只木과 峰屋(1968) 및 四大學合同調査班(1966)의 보고들과 비슷하게 나타났다.

해발고와 사면에 따른 중왕산 신갈나무림의 연간 순생산량을 비교한 분산분석표를 Table 7에 요약하였다. 해발고에 대한 F 분포에서의 기각역 확률은 0.013으로 나타나 5% 유의수준에서 해발고에 따른 신갈나무림의 연간 순생산량은 차이가 있는 것으로 나타났다. 한편 사면에 대한 기각역 확률은 0.358으로써 5% 유의수준에서 사면에 따른 생산량의 차이는 없는 것으로 나타났다.

사면에 따른 연간 순생산량의 차이가 나타나지 않은 이유는 우선 중왕산 지역 해발 1,300m의 경우, 중왕산 지역의 해발 1,300m 이상에서는 신갈나무가 거의 나타나지 않고 있음을 볼 때 북사면의 낮은 온도로 인하여 신갈나무의 생장이 더 적어진 경향이 나타난 것으로 추정된다. 그리고 중왕산 해발 800m 부위는 북사면의 신갈나무림이 전석지에 주로 분포하고 있어서 생장에 장애를 받은 것으로 생각된다.

3. 순동화율

중왕산 지역 60-70년생 신갈나무의 순동화율(net assimilation rate; NAR)을 Table 8에 나타내었다. 여기에

따르면 중왕산 북사면 지역 해발 1,300m에서 4.1 kg/kg/yr, 해발 1,000m에서 4.2 kg/kg/yr, 해발 800m에서 5.2 kg/kg/yr이고, 남사면 지역 해발 1,300m에서 5.4 kg/kg/yr, 해발 1,000m에서 6.2 kg/kg/yr, 해발 800m에서 5.4 kg/kg/yr으로 나타났다. 따라서 본 연구지에서는 북사면보다 남사면에서 신갈나무림의 순동화율이 더 높은 것으로 나타났으며, 또한 해발 1,300m부터 800m 사이에서는 해발고가 낮을수록 순동화율이 더 높아지는 경향을 보였다. 한편, 이경재와 박인협(1987)은 경기도 광주지방 22년생 신갈나무림 잎의 순동화율이 3.42 kg/kg/yr, 김태욱 등(1982)은 오동나무림이 4.72 kg/kg/yr, 김갑덕 등(1985)은 아까시나무림이 2.50~4.13 kg/kg/yr라고 하였는데, 전반적으로 중왕산 지역 신갈나무림의 순동화율이 다소 높은 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 권기철. 1998. 천연갱신을 위한 월악산 천연림의 군집생태학적 무육방안. 충북대학교 농학석사학위논문. 85pp.
2. 김갑덕, 김태욱, 이경재, 김준선. 1985. 아까시나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지 69:60-68.
3. 김태욱, 이경재, 박인협. 1982. 환경오염이 오동나무 인공림의 물질생산에 미치는 영향에 관한 연구. 한국임학회지 58: 8-16.
4. 박관수. 2003. 광양, 평창, 영동 지역 신갈나무 임분의 현존생물량 및 순생산량. 한국임학회지 92(6): 567-574.
5. 박봉규, 이현순. 1981. 도봉산의 사면에 따른 식생구조에 관한 연구. 한국생활과학연구원 논총 제27집. 81-94pp.
6. 박은숙. 1987. 황학산 천연활엽수 이차림의 식물사회학적 특성과 물질생산에 관한 연구. 경희대학교 대학원 박사학위논문. p.46-47.
7. 박인협, 서영권, 김동엽, 손요환, 이명종, 진현오. 2003. 강원도 춘천지역 신갈나무 임분과 굴참나무 임분의 물질생산. 한국임학회지 92(1): 52-57.
8. 박인협, 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 83(23): 246-253.
9. 산림청. 2005. 임업통계연보 제35호. 산림청. 462pp.
10. 송철영, 이수옥. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산성에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 443-452.
11. 오정수, 홍성각. 1989. 집약재배된 현사시 임분의 밀도와 벌기령이 물질생산과 생산구조에 미치는 영향. 임산에너지 9(2): 62-79.

12. 이경재, 박인협. 1987. 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산량과 무기영양물분포. 임산에너지 7(1): 11-21.
13. 이돈구, 고영주, 윤종화, 권기원, 김갑태, 마상규, 김지홍, 김수인, 황재우, 신만용. 1995. 국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구 (XI). 산림청.
14. 이돈구, 김지홍, 조재창, 차동호. 1990. 참나무자원의 종합이용 개발에 관한 연구(III)-제2장 생태연구 편. 과학기술처. 449pp.
15. 이수욱, 박관화. 1986. 한국의 소나무 및 참나무 천연림 생태계의 Biomass 및 유기Energy 생산에 관한 연구. 한국임산에너지학회지 6(1): 46-58.
16. 四大學合同調査班. 1966. 森林の生産力に關する研究. 第3報. スギ人工林の物質生産について. 日本林業技術協會育林技術研究會. 東京. p.1-63.
17. 只本良也, 峰屋欣二. 1968. 森林生態學とその物質生産. わかりやすい林業解誤シリーズ p.2. 林業科學技術振興所. 66pp.
18. Brunori, A., P.K.R. Nair and D.L. Rockwood. 1995. Performance of two *Eucalyptus* species at different slope positions and aspects in a contour-ridge planting system in the Negev Desert of Israel. For. Ecol. Manage. 75: 41-48.
19. Canadell, J., A. Djema, B. Lpez, F. Lloret, S. Sabat, D. Siscart and C.A. Gracia. 1999. Structure and Dynamics of the Root System. Pages 47-59 in F. Rod, J. Retana, C.A. Gracia and J. Bellot(eds). Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies 137. Springer.
20. Finney, H.R., N.H. Holoway and M.R. Heddleson. 1962. The influence of microclimate on the morphology of certain soils of the Allegheny Plateau Ohio. Soil Sci. Soc. Ann. Proc. 26: 287-292.
21. Johnson, F.L. and P.G. Risser. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackjack oak forest. Ecology 55(6): 1246-1258.
22. Laclau, P. 2003. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. For. Ecol. Manage. 173: 353-360.
23. Minckler, L. 1961. Silviculture considerations in the challenges for forestry. State U. of New York, College of For., Syracuse, N.Y.
24. 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.
25. Ovington, J.D. 1965. Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. Biol. Rev. 40: 295-336.
26. Rodin, L.E. and N.I. Bazilevich. 1967. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Oliver and Boyd, London.

(2006년 3월 14일 접수; 2006년 4월 5일 채택)